

MICRO PIEZOELECTRIC VIBRATOR, ITS MANUFACTURE AND MICRO PIEZOELECTRIC VIBRATOR AND ITS MANUFACTURE

Patent Number: JP7274287

Publication date: 1995-10-20

Inventor(s): ADACHI HIDEO; others: 01

Applicant(s): OLYMPUS OPTICAL CO LTD

Requested Patent: ☐ JP7274287

Application Number: JP19940060741 19940330

Priority Number(s):

IPC Classification: H04R17/00; A61B1/00; H01L41/09; H01L41/22; H03H9/17

EC Classification:

Equivalents:

Abstract

PURPOSE: To detect pressure sensing information of a living body or touch information such as a viscous characteristic and its anisotropy and nonlinearity by providing a piezoelectric element in a polarized state of a thin piezoelectric element at least in a region inserted between pattern electrodes and an elastic member adhered to the piezoelectric element at the position inserted between the pattern electrodes.

CONSTITUTION: A base 14 of a micro piezoelectric vibrator supports a piezoelectric element 15 at its surrounding and an elastic member 16 is adhered to the piezoelectric element 15. Furthermore, in addition, a rear side protection film 17, a surface protection film 18, and air gaps 19, 20 are provided on a base 14 and the piezoelectric element 15. A side of a module of a pressure sensing and touch sensing sensor mounted on a micro catheter is small. An elastic member 16 with a large mechanical quality coefficient is adhered to a piezoelectric active region 15j of the piezoelectric element 15 so as not to be in contact with the base 14, then the micro piezoelectric vibrator with a very small size and an excellent vibration efficiency is obtained and a pressure sensor with high sensitivity and high S/N is provided.

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-274287

(43) 公開日 平成7年(1995)10月20日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 R 17/00				
A 6 1 B 1/00	3 0 0 D			
H 0 1 L 41/09				
			H 0 1 L 41/ 08	C
			41/ 22	Z
審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 22 頁) 最終頁に続く				

(21) 出願番号 特願平6-60741

(22) 出願日 平成6年(1994)3月30日

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 安達 日出夫

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内

(72) 発明者 今橋 拓也

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内

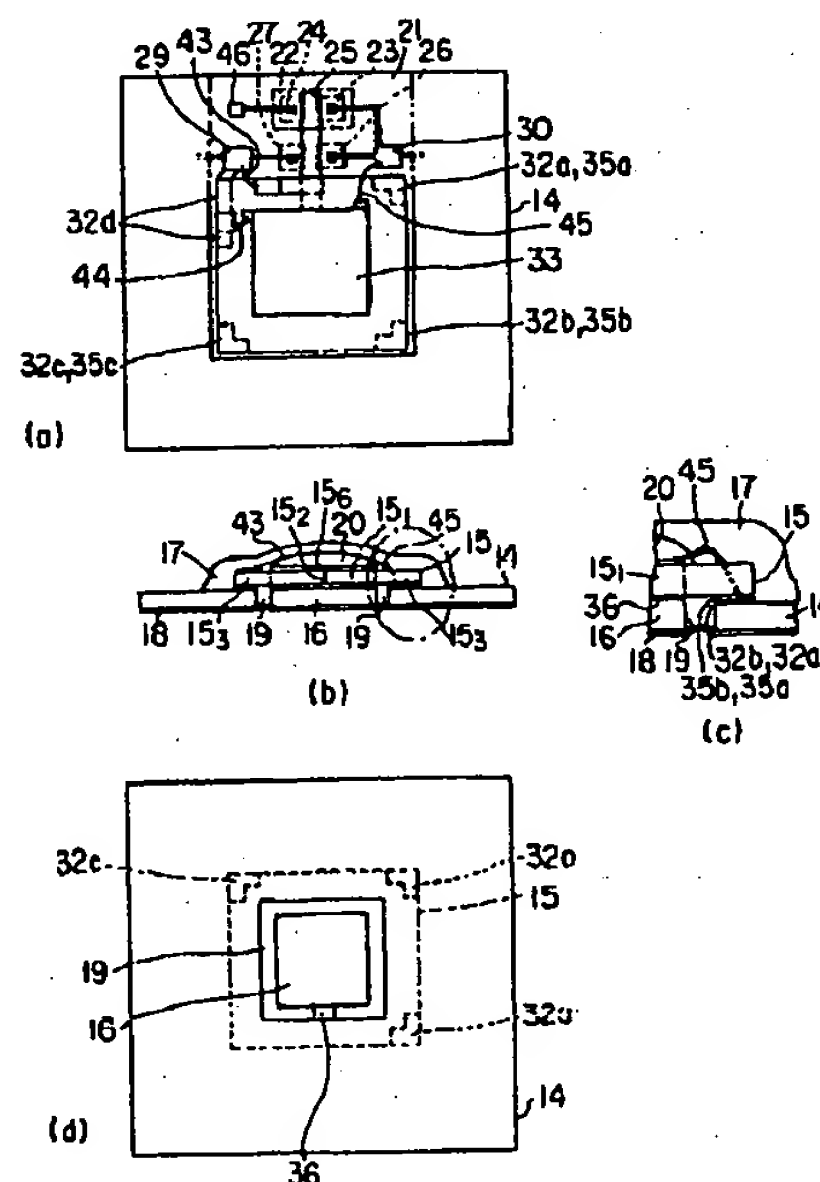
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54) 【発明の名称】 マイクロ圧電振動子とその製造方法及びマイクロ圧電振動子モジュールとその製造方法

(57) 【要約】

【目的】 生体が有する圧覚情報または粘弾性特性やその異方性、非線形性触覚情報を検出するために、圧電素子に弾性部材を接合して不要振動を含まない共振先鋭度 Q_m の大きな効率の良い圧電振動をすることを特徴とする。

【構成】 このマイクロ圧電振動子は、パターン電極36、33を配置して厚さ方向に分極された薄板状圧電素子15と、この薄板状圧電素子15と接合状態にある弾性部材16を有している。そして、上記薄板状圧電素子15は、基板14によって、その周囲が保持されて構成されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 その両面にパターン化したパターン電極を配置した薄板状圧電素子と、
この薄板状圧電素子の近傍に設けられて該圧電素子を保持する基板と、

上記薄板状圧電素子の少なくとも上記パターン電極で挟まれた領域で該圧電素子が分極状態にあり、該パターン電極が配置された位置で上記圧電素子と接合される弾性部材とを具備することを特徴とするマイクロ圧電振動子。

【請求項2】 その両面にパターン化した電極を施して薄板状圧電素子を形成する工程と、
上記圧電素子の周辺で、該圧電素子を基板に保持させる工程と、

上記圧電素子の少なくともパターン電極で挟まれた領域で、上記圧電素子が分極状態にあり、上記パターン電極が配置された位置で弾性部材を上記圧電素子に接合された状態にする工程とを具備し、

上記弾性部材と基板の間に存在する空隙部が化学エッチング法によって形成されることを特徴とするマイクロ圧電振動子の製造方法。

【請求項3】 両面にパターン化したパターン電極を配置した薄板状圧電素子と、
この圧電素子の近傍に設けられて該圧電素子を保持する基板と、

上記圧電素子の少なくとも上記パターン電極で挟まれた領域で、上記圧電素子が分極状態にあり、該パターン電極が配置された位置で上記圧電素子と接合される弾性部材とを具備し、

上記基板が、圧電振動子駆動回路を集積的に配設していることを特徴とするマイクロ圧電振動子モジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明はマイクロ圧電振動子及びこのマイクロ圧電振動子を利用した医療分野の診断・治療に用いる圧覚、触覚センサに関する。

【0002】

【従来の技術】近年、医療技術の発展と共に、患者に苦痛がなく、操作者の熟練度を必要としない、診断・治療システムとして、低浸襲診断・治療技術が注目されている。具体的には、内視鏡下での外科手術やカテーテルを用いた診断・治療が、膵胆管疾患や脳血管疾患の診断・治療に用いられている。

【0003】しかしながら、これらの診断・治療は、安全性、操作性といった面でまだ改善の余地が残されている。例えば、内視鏡下の手術では、把持鉗子や処置具で膵胆管等の生体組織を把持、押圧、切開等の処置をする際、操作者が直接手指で触れるわけではないので、過度に把持、押圧することが、希であるが起り得る。また、脳疾患診断・治療時のカテーテルの挿入操作は、現

時点では完全に操作者の勘と技能に依存している。このように、低浸襲診断・治療技術が発達するにつれて、患者の負担は軽減されてきているが、安全性という点では未だ改善の余地が残されている。

【0004】このようなニーズに対し、マイクロマシンの技術を用いて解決しようというコンセプトが提唱されている。図19は、このコンセプトを示したものである。これは脳血管疾患、特に脳動脈瘤の診断・治療に関するものであり、脳動脈瘤を切除するために、脳血管診断治療用マイクロカテーテル1を脳血管に挿入し、動脈瘤部を塞栓している様子を示している。この場合、脳動脈の径は、2mm程度のところを湾曲させながら目的の部位まで挿入して行くので、マイクロカテーテル操作部2を操作し、マイクロカテーテル1の先端が血管壁にぶつかりながら挿入されて行くことになる。したがって、ひとつ操作を間違えると、脳血管に傷をつけ、脳機能障害を引き起こす恐れがある。

【0005】そこで、管壁にマイクロカテーテル1の先端が接触圧を受けるや否や、その信号をマイクロカテーテルの操作者が知り、この情報を基に接触圧を回避する方向に湾曲操作するシステムが必要となる。

【0006】このようなシステムには種々の要素技術が必要であるが、接触圧等の生体情報を検出する圧覚センサや触覚センサは重要である。例えば、図20を参照すると、マイクロカテーテル1の湾曲部3には、触覚センサ4及び極細内視鏡5が取付けられている。そして、このようなマイクロカテーテル1が、血管6内の内部7に挿入され、照射光8の照射により異常組織9が発見される。

【0007】ここでは、このような接触圧等の生体情報を検出する圧覚センサや触覚センサを、マイクロ圧覚センサまたはマイクロ触覚センサと称することとする。前者は、血管や、膵・胆管のような粘弾性体の圧力感を検出するもの、後者は更に生体が持っている非線形粘弾性特性や、粘弾性特性の異方性といった高度の触覚と称して、これを検出できるセンサという用い方をしている。

【0008】ところで、このようなニーズに応えることを目的としたマイクロ圧覚センサ、またはマイクロ触覚センサは、従来は皆無であった。他の目的、例えば自動車用としては、半導体歪ゲージが一般的である。例えば特開平5-21814号公報に開示されている圧力センサは、シリコン基板と、この基板上に形成されたガラス厚膜と、このガラス厚膜上に形成されたシリコン薄膜

と、その所定領域に形成されたピエゾ抵抗効果領域と、これに接続されたリード線から成り、上記シリコン薄膜の所定領域に対応するガラス厚膜を上記シリコン基板を含まない受圧部とした構造となっている。

【0009】このように、半導体プロセスを用いた製造方法によると、微細加工が容易で、微少な圧力センサを実現することが可能である。また、センサ駆動回路をシ

リコン基板部にモノリシックに形成し、スマートセンサ化している圧力センサも既に市販されている。

【0010】しかしながら、この場合、検出できるのは圧力情報のみであり、接触、しかも生体のような粘弾性体の接触、押圧状態の検出に利用することは不可能である。また、図19及び図20に示されるように、マイクロカテーテル1の先端に付設できるほど小さいものではない。

【0011】生体のような粘弾性体の測定に適した方法として、研究が進んでいるのは、例えば、尾股定夫：「硬さ知覚用触覚センサの開発」、センサ技術1990年9月号PP27~PP31に記載されているような圧電振動子を用いる方法である。

【0012】図21は、上記の圧電振動子の構造を示したものである。PZT振動子10を硬質のウレタンフォーム11の中に固定してセンサプローブとしたもので、先端部が $r=1\sim1.5\text{mm}$ の球状部12に加工されていて、圧電振動子10と回路とで自励発振回路を構成している。この自励発振回路の発振周波数の接触圧の加わった時の変化を見ることにより、対象物の硬さを検出できる構造になっている。

【0013】しかしながら、これは対象が生体表面、例えば皮膚であったり、生体外に摘出した臓器を体外で測定するという用い方をするので、これに用いられるセンサは、その寸法を特に小さくする必要は無いものであった。

【0014】ところが、図19に示されたような医療応用コンセプトを実現するためには、例えばマイクロカテーテル径 1.5mm の先端に複数マウントできる最大のセンサ寸法である $0.5\text{mm}\square\times0.2\text{mm}$ という寸法にすることが必要である。しかしながら、上述したセンサ構造や動作原理では実現不可能なことは明らかであり、また上述した生体の有する粘弾性特性の非線形性や、異方性を検出することも難しい構造となっている。

【0015】ここで、圧電振動子をマイクロ化できなかった理由をまとめて記載すると以下ようになる。すなわち、圧電振動子をマイクロ化すると、i) 静電容量の低下による電気インピーダンスの上昇が起こり、 S/N が悪くなる。ii) S/N 悪化を避けるためには圧電振動子の直近に駆動回路を配置することが必要であり、上述したように縦波及び横波超音波応答を用いることが効果的だが、回路構成が複雑になり、この回路と圧電振動子で構成されるモジュールの寸法が大きくなってしまふ。iii) マイクロ寸法の圧電振動子を製造する技術がなかった。

【0016】このうち、上記i)に関しては、圧電素子の厚さを小さくすることと誘電率の大きな圧電材料を用いることが有効である。以下に、他の理由を含めて圧電厚膜の成膜技術が重要であることを述べる。

【0017】圧電振動子を利用することは、生体の硬さ

柔らかさを検出するのに極めて有用であるが、上述したセンサ寸法に収めるための圧電振動子形成手段がなかったことが挙げられる。圧電振動子の形状は、面積を微小化しなくてはならない時、例えば、本発明の目的の場合のように、 $0.5\text{mm}\square$ 以下に収めようすると、数十 μm の厚さの圧電素子の実現が必要となる。

【0018】その理由は、厚さ数 μm では厚み縦振動を用いると、共振周波数が高くなりすぎ、センサ信号の制御が難しくなるという欠点が生じる。更に、基板に接触させると、純粋な厚み振動にならず、基板と一体的に振動する屈曲振動を起こす。この場合、基板のマウントの仕方によって、感度等のセンサ特性が大きく変化し、圧電振動子の利用目的を達成できなくなる。

【0019】更に、圧電振動部のみを基板から遊離させて純粋な厚み縦振動のみを励起しようすると、厚さ数 μm では機械的強度が弱く接触圧によって破壊される虞れがある。更に、圧電素子は良く知られているように、体積効果素子であるので、圧電素子の振動応答によって生体の機械的特性を検出する、という本発明のようなセンサ原理を用いる場合、圧電振動子の発生振動エネルギーが大きいほど感度や S/N が良くなるということは、容易に推測できることである。

【0020】一方、 $100\mu\text{m}$ 以上の厚さでは、上記の問題は無いが、静電容量が小さくなることによりインピーダンスが高くなりすぎ、 S/N が悪くなるという欠点が生じる。

【0021】以上の理由により、マイクロ圧電センサを実現するには、厚さが数十 μm の範囲の圧電厚膜とその製造工技術が必要になる。圧電厚膜とその加工技術についての先行技術としては、以下に記載するものがある。その1つは、特開平3-283583号公報に開示されている。これは、PZT粉末をガラスフリットや有機バインダと混合して作成したペーストを、スクリーン印刷によって印刷、焼成したもので、数十 μm の圧電厚膜を得ることができる。

【0022】しかし、圧電素子面積はスクリーンの精細度に依存し、また基板の小ささに限界があり、センサ寸法を上記した寸法に収めるためには、切断加工が必要となる。また、ペーストに含むガラスフリット成分によっては満足できる圧電特性が得られない場合がある。

【0023】他の厚膜形成方法としては、電気泳動電着法による厚膜形成技術が、特開昭63-110681号公報に開示されている。この方法は、アルコール系溶媒に酸またはアルカリを添加し、圧電体粉末を分散させた電解液を用い、電気泳動電着法によって電極形成された基板上に圧電セラミクスを付着させ、その後焼結温度で焼成させ、厚膜を得るという方法である。この特開昭63-110681号公報による先行技術は、硝酸や塩酸、アンモニア等の電解液を用いた湿式成膜法なので、基板に対する悪影響が大きいという欠点を有している。

【0024】例えば、センサ駆動回路モジュールを製造する場合、厚膜形成基板は、既にこのような回路構造をモノリシックに形成済みの基板を用いることになるし、センサ構造上、厚膜形成後に基板をエッチング加工する必要があっても、厚膜成膜時にはエッチング等の化学的な変化を受けることが好ましくない。

【0025】更に他の厚膜形成法としては、特開平4-188503号公報に開示された厚膜の製造方法がある。これは、粒径が $1\mu\text{m}$ 以下のセラミクス系誘電体微粒子をガス中に浮遊させてエアゾル化し、これをノズルを介して高速で基板上に噴射して堆積させ、厚さ $1\sim 20\mu\text{m}$ のセラミクス誘電体厚膜層を形成する技術である。この方法によると、他の上述した先行例が有する欠点が全て解決されている。

【0026】しかしながら、この特開平4-188503号公報の先行技術には、単に電極の施された基板に厚膜形成し、その上に上部電極を形成した誘電体コンデンサ素子の構造を開示しているのみで、他の構造、例えば厚み振動をする部分に基板材料が接していないので、屈曲振動を励起させないで、厚み振動のみを励振できる構造については全く開示されていない。

【0027】

【発明が解決しようとする課題】このように、特開平5-21814号公報の技術は、半導体エピゾ抵抗効果を用いた圧力センサで、半導体内に駆動回路を形成しやすくスマートセンサ化の実現可能性は大きいが、押圧力の検出ができて粘弾性体である生体の接触、押圧状態の検出は難しいという課題を有している。

【0028】また、尾股定夫：「硬さ知覚用触覚センサの開発」、センサ技術1990年9月号PP27~PP31に開示された技術は、圧電振動子を用いているので、生体の粘弾性特性の検出は可能である。しかし、粘弾性の非線形性や異方性についての情報は得られない。更に、マイクロ化が難しく、マイクロ構造に加工できたとしても共振周波数が厚み振動に比べ、かなり低いので、インピーダンスが大きく制御しにくく、S/Nも悪いという課題を有している。

【0029】更に、特開平3-283583号公報には、圧電厚膜の形成方法が開示されている。この方法によって厚膜形成は可能であるが、板上に全面で付着して効率よく利用できる振動モードは屈曲振動であり、厚み縦振動や、厚みすべり振動は励起できない。また、最初からマイクロサイズの基板に形成することは不可能で、基板上に厚膜形成後、基板ごと切断加工することになり、バンドリングが難しくなるという課題を有している。

【0030】上記特開昭63-110681号公報には、他の圧電厚膜形成法が開示されている。この方法では、複雑な表面構造の基材に厚膜を形成できるが、電解質溶液を用いた湿式成膜なので、基板に対するダメージ

が大きく、信頼性が要求されるセンサ用圧電厚膜の形成法には適していない。

【0031】加えて、上記特開平4-188503号公報の技術は、上記した厚膜形成法に比べて欠点が少ないが、具体的なデバイス構造は誘電体コンデンサを開示しているのみで、圧電振動子への応用についての記載は全く無い。

【0032】この発明は上記課題に鑑みてなされたもので、生体が有する圧覚情報または粘性特性やその異方性、非線形といった触覚情報を検出することのできるマイクロ圧電振動子とその製造方法及びマイクロ圧電振動子モジュールとその製造方法を提供することを目的とする。

【0033】

【課題を解決するための手段】すなわちこの発明は、その両面にパターン化したパターン電極を配置した薄板状圧電素子と、この薄板状圧電素子の近傍に設けられて該圧電素子を保持する基板と、上記薄板状圧電素子の少なくとも上記パターン電極で挟まれた領域で該圧電素子が分極状態にあり、該パターン電極が配置された位置で上記圧電素子と接合される弾性部材とを具備することを特徴とする。

【0034】またこの発明は、その両面にパターン化した電極を施して薄板状圧電素子を形成する工程と、上記圧電素子の周辺で、該圧電素子を基板に保持させる工程と、上記圧電素子の少なくともパターン電極で挟まれた領域で、上記圧電素子が分極状態にあり、上記パターン電極が配置された位置で弾性部材を上記圧電素子に接合された状態にする工程とを具備し、上記弾性部材と基板の間に存在する空隙部が化学エッチング法によって形成されることを特徴とする。

【0035】更にこの発明は、両面にパターン化したパターン電極を配置した薄板状圧電素子と、この圧電素子の近傍に設けられて該圧電素子を保持する基板と、上記圧電素子の少なくとも上記パターン電極で挟まれた領域で、上記圧電素子が分極状態にあり、該パターン電極が配置された位置で上記圧電素子と接合される弾性部材とを具備し、上記基板が、圧電振動子駆動回路を集積的に配設していることを特徴とする。

【0036】

【作用】この発明のマイクロ圧電振動子にあっては、圧電素子に弾性部材を接合しているので、共振器長が長くなる。このため、マイクロ圧電振動子全体としての共振周波数が低下し、動作させやすい周波数領域になる。また、圧電素子は、その周囲で保持され、しかもパターン電極で振動を励起し、圧電素子の周辺のみで保持しているので、振動の漏洩が起らず、厚み閉じ込め振動のみが起こる。更に、弾性部材に圧電素子より Q_m の大きな材料を用いることにより、圧電振動子の平均的な Q_m が大きくなり、不要振動を含まない共振先鋭度 Q_m の大き

な効率の良い圧電振動となる。加えて、接合した弾性部材が保持基板として配設されているので、基板が振動に悪影響を及ぼすことがない。この圧電振動は圧電素子の厚さ方向、すなわち弾性部材の表面で、面に垂直な方向の振動をする。したがって、弾性部材の表面を対象物に接触、押圧すると、対象物の深さ方向の粘弾性特性の情報を得ることができる。これによって、弾性部材が対象物から接触、押圧を受けた時、大きな共振周波数や共振抵抗の変化を示すことになり、高感度のセンサとして用いることができる。

【0037】また、この発明にあつては、弾性部材が基板材料と同一の場合、化学エッチング法、とりわけフォトリソグラフィ法を併用したSiプロセスを利用することが有利である。また基板をSiとし、エッチング液をSiにはエッチング能力があるがPZTにはエッチング能力のないものとする。これにより、目的の領域に微細な弾性部材領域を所定の空隙部寸法で基板面に垂直方向に容易にできる。また、エッチングはSiを全てエッチングしたところPZT圧電素子材料がエッチングされることはない。

【0038】更に、この発明にあつては、圧電素子とその周辺で保持した基板に接合用電極や配線を設けておき、インバータ回路チップ等のセンサ駆動回路部品を混成的に接合配設する。これにより、配線に重畳する高周波雑音等を除去できる。

【0039】

【実施例】以下、図面を参照してこの発明の実施例を説明する。図1乃至図5はこの発明による第1の実施例を示したものである。図1はこの発明によるマイクロ圧電振動子の構成を示した図で、図1(a)は上面図、(b)は断面図、(c)はこの断面図の一部の拡大図、(d)は裏面から見た下面図である。図2乃至図5は、図1のマイクロ圧電振動子の製造工程を示した図である。

【0040】この発明によるマイクロ圧電振動子は、図1に示されるように、基板14が、圧電素子15をその周辺で保持するように設けられている。そして、圧電素子15には弾性部材16が接合されており、更に付加的な構成要素として、背面保護膜17、表面保護膜18、空隙部19及び20が、基板14及び圧電素子15上に設けられている。

【0041】次に、図2乃至図5を参照して、その製造方法について説明する。図2(a)はマイクロ圧電振動子の上面図、同図(b)は断面図、同図(c)及び

(d)は圧電素子の表裏面の電極付設状況を示し、図3は圧電素子15を基板14に熱圧着接合した後の状態を示したもので、図3(a)は上面図、同図(b)は断面図、同図(c)は同図(b)の一部を拡大して示した断面図である。同実施例では、センサ駆動回路等の回路がモノリシックに集積化した半導体基板から成っている。

【0042】上記センサ駆動回路は、圧電素子15の分極部15₁と弾性部材16から成るマイクロ圧電振動子と共に発振回路を構成するためのインバータ回路を、少なくとも1つ集積化している。該インバータ回路は、n-Si基板21にp⁻領域22を形成し、更にn⁺領域23、24、メタルゲート領域25を形成し、pチャンネルMOSを構成している。同様に、p⁺領域26、27及びメタルゲート領域25とで、nチャンネルMOSを構成する。

10 【0043】これらの両MOSが相補的な接続になるようにし、共通のメタルゲート25及び配線28で、インバータ回路がモノリシックに構成されている。共通のメタルゲート25からの端子パッド29がインバータ回路の入力部に、配線28で共通化したパッド部30がインバータ回路の出力部に相当する。

20 【0044】尚、領域31は、インバータ回路を含んだ発振回路の出力を信号処理する回路をモノリシックに集積配設している領域である。この基板14には、圧電素子15を基板に対して定位置に配設できるようにするための接合用パッド32a、32b、32c、及び圧電素子15の圧電活性部電極33で圧電素子を接合させるための接合用パッド34が、例えば鉛-錫-銀合金等の低融点合金を用いて、蒸着等の手段で形成されている。また、その他、誘電体コンデンサ部の下部電極との接合パッド32d、32eが、同様の手段で形成されている。これら、接合パッド、インバータ入出力電極パッド以外の面は、熱酸化等の手段でSi酸化膜が形成されていて、絶縁性の表面となっている。

30 【0045】一方、上記基板14に、その周囲で基板14に接合させる圧電素子15は、基板に接合する側の面は図2(d)に示されるように、接合部35a、35b、35c、圧電活性部電極36、誘電体コンデンサ用電極37、38が形成されている。その反対側の面(図2(c))には、圧電活性部電極33、誘電体コンデンサ用電極39、40が形成されている。

40 【0046】上記電極36、33の間は、厚さ方向に分極されていた圧電活性領域15₁が形成されている。上記圧電素子15は、ジルコンチタン酸鉛(PZT)やPLZTチタン酸ビスマス系等の圧電セラミックスを電極形成後分極したもので、従って、分極状態15₂にある圧電活性領域15₁と、未分極状態の領域15₃とから成っている。

【0047】このような圧電素子15を、図2(d)側の電極面を基板14に接するように熱圧着接合する。この熱圧着温度は、圧電素子15のキュリー温度を考慮して、200℃以下で行うようにする。

【0048】尚、領域15₃は、必ずしも未分極状態であっても良く、領域15₁と同様に分極状態にあっても良い。図4は、基板14に凹部を形成し、この凹部に弾

50 性部材16を形成した状態を示している。この弾性部材

16は、圧電素子15の支持基板14の凹部の内側壁と接しないように、空隙部19を介して配置されている。

【0049】このような構成は、基板14に凹部を形成後、弾性部材16をマイクロ接合する方法と、空隙部19のみを化学的にエッチングすることにより、弾性部材16を残すという、2つの方法がある。前者はマイクロ接合が難しい反面、弾性部材19の材料の選択性や寸法、特に厚さの決定の仕方に融通性を持たせられるという長所を有する。一方、後者は基板材料と同一材料、同一厚さとなり、前者の方法のような融通性を持たない反面、加工が容易という長所がある。

【0050】同実施例に用いる基板材料は、センサ駆動回路をモノリシックに併設できるSi半導体を用いるが、Si単結晶は機械的品質係数 Q_m が5000以上と高く、また、その厚さもセンサ駆動回路を併設した部分の厚さは10 μm あれば十分なので、弾性部材19の最適な厚みに基板14の厚さを合わせるという設計が可能となる。

【0051】尚、弾性部材16の底面形状は、圧電素子15の圧電活性領域15₁に合わせて形成した電極15₄に相似であり、その寸法は電極15₄の寸法の $\pm 50\%$ 以内が好ましい。この寸法より大きいと、空隙部19が狭くなり、弾性部材16の側壁と基板14の凹部内側壁同士が接触し、マイクロ圧電振動子が効率の良い振動をしなくなり、センサとしての感度低下やS/N劣化につながるようになる。

【0052】また、 -50% より小さすぎると、マイクロ圧電振動子が2つの高さ成分を有する効果が歴然とし、種々の振動モードが励起され、やはり効率の良い振動をしなくなるため、センサとしての感度低下やS/N劣化につながるようになる。

【0053】尚、上記何れかの方法で弾性部材16を形成しようとも、この高さ設計にはもう1つ重要な条件が必要である。それは、マイクロ圧電振動子は圧電素子15、とりわけ圧電活性部15₃と弾性部材16、及び両者の接合層（図示せず）から成り、その両端面15₅、15₆で最大の変位をし、節の部分で変位しないという定在波振動をする。この際、定在波振動の節部を、その構造体の機械的強度が最も弱いところになるように設計することは重要な設計要件である。上述した層状構造に於いては、接合層がそこに相当する部位であることは容易に想像のつくところである。基板14や弾性部材16の厚さは、以上のような考え方を盛り込んで設計されることになる。

【0054】図5は、更にワイヤボンディング等の手段により、圧電素子15の圧電活性部15₁とインバータ回路と、一對の誘電体コンデンサ部41、42を配線43、44で接続して発振回路を構成した状態を示している。尚、この発振回路には、その他図示されていない帰還抵抗が必要で、端子パッド30、25の間にモノリシ

ックに接続されている。また、45は配線である。

【0055】更に、以上のようにして構成されたマイクロ圧電振動子に対し、機械的強度の補強、及び耐環境特性、例えば耐湿性や医療応用時に必要な耐滅菌性を向上させるために、背面側、表面側にそれぞれ保護膜17、18を塗布、蒸着等の手段で形成する。

【0056】尚、このとき、この保護膜がマイクロ圧電振動子の振動効率を低下させないように、空隙部20、19を形成させておくことが必要である。次に、以上のような工程によって得られたマイクロ圧電振動子の作用について説明する。

【0057】直流電圧をインバータ回路の電源端子46に印加すると、マイクロ圧電振動子は、その共振周波数で発振する。この発振状態に於ける機械的品質係数 Q_m が大きい程、共振周波数や共振周波数に於ける共振抵抗は接触物による影響を大きく受けるので、この効果をセンサに用いる。しかし、比較的緻密で加工性の良いマイクロ寸法に適したPZTは、通常ソフト系PZT材料に属し、機械的品質係数 Q_m は100以下と小さいため、そのままでは本方式の圧力センサには不向きである。

【0058】そこで、本発明では Q_m の大きな弾性材料を接合し、見掛けの Q_m を上昇させている。そして、構造的に最も機械的強度が弱いと見なせる接合部に振動の節が来るように設計することによって、機械的強度を上げている。更に、このように弾性部材を接合することは、以下に詳述するマイクロ構造ならではの好ましい効果をももたらす。

【0059】上述したように、マイクロカテーテルに搭載する圧覚、触覚センサは、そのモジュール寸法として50 μm □×200 μm と小さい。これに対して、圧電活性領域を、例えば200 μm □×100 μm とし、比誘電率2000の圧電材料を用いたとすると、この時の静電容量は7.1pFと非常に小さい。ここで、浮遊容量による感度やS/Nの劣化を防ぐには、少なくとも10pFは必要である。このためには、圧電素子の厚さを更に薄くする必要がある。

【0060】しかしながら厚さを減らすと、例えば厚さを25 μm にした時、静電容量は52.8pFと大きくなるものの、共振周波数も80MHzと上昇し、センサ駆動が難しくなる。ここで、上記実施例のように弾性部材16を接合することによって、共振周波数は低下させることができる。

【0061】以上のように、圧電素子15を駆動回路をモノリシックに配設した基板14に、圧電素子15の周辺部にて接合し、圧電素子15の圧電活性領域に機械的品質係数の大きな弾性部材を、基板に接触しないように接合することにより、微小寸法で振動効率の良いマイクロ圧電振動子が得られ、高感度、高S/N圧覚センサが得られる。

【0062】更に、副部材として、保護膜を付設するこ

とによって、高信頼性の圧覚センサが得られるようになる。尚、この第1の実施例では、圧電素子の基板への接合は、上述したように低融点金属合金を用いたが、必ずしもこの方法に限定されるものではない。例えば、絶縁性の接着剤を用いたり、圧電素子として透明性の良いPZTや、強誘電体単結晶材料や水晶を用い、接着剤として光硬化性樹脂を用い、これらの透明圧電素子越しに光を照射し、加熱せずに接着剤を硬化させ、接合するという方法も考えられる。

【0063】次に、この発明の第2の実施例について説明する。図6は、この発明による第2の実施例によるマイクロ圧電振動子の構成を示したものである。

【0064】上述した第1の実施例は、図1乃至図5に示されるように、圧電素子15の圧電活性部の分極方向は、圧電板の厚さ方向となっている。また、駆動電極も圧電素子の表裏面に施されているので、圧電振動はいわゆる厚み縦振動である。したがって、この振動方向に関する振動応答が得られる。

【0065】しかしながら、検出対象物が生体のように異方性が大きく、特に表面に沿った方向の粘弾性特性を検出したい場合、上述した第1の実施例に示す構造ではこのニーズに応えられない虞れがある。この第2の実施例は、このようなニーズに応えるもので、生体等の表面に沿った方向の機械的特性、特に粘弾性を検出することを目的としている。

【0066】本実施例の第1実施例と構造的に異なる点は圧電活性領域に於ける分極方向が圧電素子の面に沿った方向になっていると言う点だけで、他の部分については全く同じである。

【0067】このような構成にすることによって、マイクロ圧電振動子は厚みすべり振動を起こす。この振動は、生体等の対象物に対し横振動波を起こし、これに対する機械的応答を検出することができる。

【0068】このようにして、表面に沿った方向の機械的特性、特に粘弾性を検出することができる。次に、この発明の第3の実施例について説明する。

【0069】図7は、この発明による第3の実施例の構成を示したもので、同図(a)は保護膜を形成する前、すなわち同図(c)、(d)に示される圧電素子を接合した後の構造の上面図、同図(b)はその断面図、同図(c)、(d)は圧電素子に施された電極及び、接合パッドを示した図である。

【0070】この構造は、上述した第1及び第2の実施例が、それぞれ縦振動応答か、横振動かの何れか一方だけを検出できる構造だったのに対し、第3の実施例は同時に両方の検出ができるようにしているのが特徴である。これを実現するために、1枚の圧電素子内に2つの圧電活性領域を形成する。

【0071】すなわち、一方の分極方向は板の厚さ方法、他方は板の面に沿って分極された状態になってい

る。このような分極方法が、図8(a)～(g)に示される。図8(a)に示されるように、PZT圧電セラミクス、例えば加工性の良いソフト系PZTセラミクスを、ダイシングソー等の手段で角型に加工し(46)、その両端エッジ部に分極用電極47a、47bを形成する。そして、この電極47a、47b間に直流電源48を用いて直流電圧を印加する。これによって、板の面に沿った分極Ps49が生じる。

【0072】次に、上記分極電極47a、47bを酸でエッチングして除去する。次いで、板の両端部に分極電極50a、50bを形成し、その間に直流電源51からの電圧によって板の厚み方向に分極処理する(52;図8(b)、(c))。このA領域の分極形成には2種類の構造が有り、同図(e)及び(f)は、もう一つの例を示したものである。

【0073】次に、分極電極50a、50bまたは50a'、50b'を、分極電極47a、47bを除去したのと同じ方法で除去する。更に、駆動用のパターン電極を、図8(b)の構成に対しては図8(f)、図8(d)の構成に対しては図8(g)のようになるようにマスク蒸着法、またはフォトリソグラフィ法を用いて形成する。

【0074】図8(f)及び(g)は、図7(d)に示されたパターン電極構造に対応されて示されるもので、その裏面の電極構造が図7(c)に対応していることはいうまでもない。

【0075】このような電極形状の時、電極53、54での圧電振動は、分極49の方向に沿った厚みすべり振動を、また分極55、56に於いては厚み縦振動をする。以上のようにして形成した圧電振動子を、上述した第1及び第2の実施例と同様な方法で基板14iに接合し、弾性部材の形成や保護膜の形成方法も同じ方法を用いる。

【0076】尚、駆動回路は、第1及び第2の実施例と同様、この圧電素子に一体的に形成した2対の誘電体コンデンサ(57a、57b)、(58a、58b)と、参照番号22a、23a、24a、22a'、24a'、25a、26a、27a、28a、30a、29aと22b、23b、24b、22b'、24b'、25b、26b、27b、28b、30b、29bから成る一対のインバータ回路を半導体基板にモノリシックに形成している。

【0077】このように構成されたマイクロ圧電振動子の動作について、図7及び図9を参照して説明する。図9は、図7のマイクロ圧電振動子をセンサに応用した場合の信号伝送系を示すブロック図である。

【0078】インバータ回路電源供給端子46a、46bに直流電圧を供給すると、分極状態49が面方向にある圧電活性領域59にある圧電素子と、それに接合された弾性体16aとから成るマイクロ圧電振動子が、厚み

すべり振動 W_s (共振周波数 f_s 、振幅 A_s)を起こす。一方、分極状態52が厚さ方向に向いている圧電活性領域60では、厚み縦振動 W_t (共振周波数 f_t 、振幅 A_t)を起こす。

【0079】したがって、 A_t と f_s は、近接して配置した弾性部材16a、16bの先端表面61a、61bが、例えば深さ方向には硬い(弾性係数が大きく粘性係数が小さい)が、面方向には柔らかい(粘性係数が大きく、弾性係数が小さい)対象物に、直接または保護膜越しに接触すると、弾性の大きな粘弾性体の時は A_t と A_s が大きく変化する。また、逆に深さ方向には柔らかく、両方向に硬い場合には、粘性の大きな粘弾性体の時は f_t と f_s が、弾性の大きな粘弾性体の時は f_t と A_s が大きく変化する。

【0080】尚、 f_t と f_s は同一寸法の場合、異なる値をとるので、信号伝達、再生がしやすくなる。すなわち、インバータの回路出力端子30a、30bの出力を合成した結果を、同一の信号伝達経路64を用いて遠隔地に伝達し、そこで、この信号をそれぞれ f_t と f_s を中心周波数とする2つのフィルタ67、68にかけて検波することにより、対象物の粘弾性とその異方性を知ることが可能となる。

【0081】図9は、この信号伝達系を示したものであり、インバータ出力端子30a、30bと、2信号合成器63と、信号伝送線64と、増幅器65と、信号分配器66と、フィルタ67、68とにより構成されている。

【0082】マイクロ圧電振動子の出力信号 W_s (f_s 、 A_s)、 W_t (f_t 、 A_t)は、2信号合成器で合成されて単一の信号 W (W_s 、 W_t)に変換される。信号伝送線64を経て、減衰またはノイズが重畳し、信号 W' となって数メートル隔てた部位に信号伝達される。この伝達された信号 W' は、増幅器65によって増幅され、信号分配器66にて2つの同一の信号に分配される。このうち、一方は中心周波数 $f_0 = f_s$ 、帯域 Δf_s を有したフィルタ67に通すことにより信号 W_s に、他方は中心周波数 $f_0 = f_t$ 、帯域 Δf_t を有したフィルタ68に通すことにより W_t に復調することができる。

【0083】尚 Δf_s 、 Δf_t は、該マイクロ圧電振動子を圧覚または触覚センサとして用いた時、対象物に接触、押圧した時の共振周波数の変化量より大きな値に設定する必要があるが、現実的にはこれらの値は f_s 、 f_t に対し5~10%である。

【0084】以上のように、分極された圧電活性部と弾性部材の対構成を2対以上、特に圧電活性部の分極方向が異なるようにすることによって、対象物の粘弾性特性、及びその異方性を検出できるように、多くの情報が得られるようになる。また、弾性部材を接合させるとい

なように設計することによって、機械的な強度が増し、信頼性が向上する。

【0085】更に、共振周波数の異なる振動モードを用いるので、信号伝送線は省線化でき、図19に示されたようなマイクロカテーテルに配設するセンサとして好ましいものとなる。

【0086】次に、この発明の第4の実施例を説明する。上述した第1乃至第3の実施例は、何れも基板をマイクロ圧電振動子駆動回路をモノリシックに配設した半導体基板を用いた場合のものであった。この第4の実施例は、集積回路チップの能動素子やLCR等の受動素子を外付けすることによって、センサの駆動回路等の回路を形成できるような配線、電極が施されている基板を用いている。これは、半導体でも酸化マグネシウムのアルミナ、ジルコニアのような絶縁基板でも良いし、また金属板の表面をサーメット加工した基板でも良い。

【0087】以下、図10の回路構成図と図11に示される実際の構造図を参照して、詳細に説明する。マイクロ圧電振動子モジュール71には、2つの異なる振動応答を扱えるようになっている。その一方は、圧電活性部72aと弾性体61aから成るマイクロ圧電振動子72aと、同一の圧電素子内73aに形成した一対の誘電体コンデンサ74a、75aと、帰還抵抗76aと、インバータ回路半導体チップ77aとから成る発振回路の出力である。他方は、圧電活性部72bと弾性体61bとから成るマイクロ圧電振動子72bと、同一の圧電振動子内73bに形成した一対の誘電体コンデンサ74b、75bと、帰還抵抗76bと、インバータ回路半導体チップ77bとから成る発振回路の出力である。

【0088】上記インバータ回路77a、77bへの動作電源電圧の供給は、配線78a、78bを経て、タイマ回路79の出力によって行われる。上記インバータ回路77a、77bはまた、配線80a、80bを介して接地される。

【0089】タイマ回路79の電源供給端子へは、電源電圧供給用配線81から直接接続されると共に、タイマ動作開始信号入力端子には電源電圧供給用配線81から直流電圧遮断用コンデンサC₁ 82を経て接続されている。タイマ回路79の出力は、上記したように、インバータ回路77a、77bの電源供給端子に接続されると共に、他のインバータ回路83の入力端子に接続される。このインバータ回路83の出力端子は、コンデンサC₃ 84と抵抗R₁ 85から成る時定数回路に接続され、ダイオード86を介してモジュールパッド87に接続されている。

【0090】また、インバータ回路77a、77bの出力 W_s 、 W_t は、それぞれに接続された配線を経て、共に2信号合成器63の入力端子に接続される。2信号合成器63の出力は、直流遮断用コンデンサC₂ 89を経て電源電圧供給用配線81に接続される。

【0091】尚、上記タイマ回路79は、配線89'によってモジュールパッド88に接続されている。以上が、1つのマイクロ圧電振動子モジュールに納められている。パッド87からは、隣接した他のマイクロ圧電振動子モジュールのタイマ回路90のタイマ動作開始指示信号入力端子91に接続されている。

【0092】次に、このような回路構成及びモジュール構造の動作について説明する。距離を隔てて配置された操作部、例えば図19のコンセプト図に対応させて表現すると、マイクロカテーテル操作部2に設置したマイクロ圧電振動子モジュール回路用駆動電源92の電圧V_oを、距離を隔てた配線64を経てタイマ回路79、90...に供給する。マイクロカテーテルを挿入し始めると共に、センシング開始指示信号パルス93を、コンデンサC_o94を介して操作部パルサ回路95から送信する。

【0093】この信号93によってタイマ回路79が起動し、その出力がオンになり、インバータ回路77a、77bやマイクロ圧電振動子を含んだ発振回路が動作し、インバータ出力端子W_s (f_s、A_s)、W_i (f_i、A_i)がそれぞれ出力される。この両出力を2信号合成器63で和信号または差信号に合成する。この合成信号は、コンデンサC₂89を経て、配線81の直流電圧に重畳され、距離を隔てた操作部に設置されたコンデンサC_o94を通して、信号分配器66によって等分配される。更に、f_s、f_iに中心に周波数を持ち、比帯域幅5~10%の特性を持ったバンドパスフィルタ67、68にかけ、元の信号W_s、W_iを復調する。

【0094】この復調した信号の中心周波数や振幅の変化は、マイクロ圧電振動子が粘弾性体負荷の接触、押圧によって変化する量に対応するのでセンサ信号を距離を隔てて検出できることに相当する。

【0095】尚、96はマイクロ圧電振動子モジュール、97はパッド87からの出力信号、98は操作部である。以上は、マイクロ圧電振動子モジュール96の振動応答を距離を隔てて検出したが、実施にはマイクロマニピュレータに複数のマイクロ圧電振動子モジュールを搭載し、圧覚、触覚信号を検出することが必要である。マイクロ圧電振動子モジュール96に搭載しているインバータ83、時定数回路84、85は、この目的のために必要になっている。

【0096】すなわち、タイマ回路79の出力がオンになった瞬間、端子87にはダイオード86のため電圧は発生しない。しかし、マイクロ圧電振動子モジュール96のセンサ動作がタイマ設定時間後に終了すると同時に、端子87に正極性のパルスが出力され、隣接したマイクロ圧電振動子モジュールのタイマ回路90の起動信号入力端子に入力され、そのマイクロ圧電振動子モジュールがセンサ動作するようになる。

【0097】そして、1つのマイクロ圧電振動子モジュールのタイマ設定時間をt秒、マイクロ圧電振動子モジ

ュール数をnとした時、t×n秒後に再度センサ動作開始指示パルス93を操作源92のパルサ回路95から出力させる。

【0098】以上のようにして、複数のマイクロ圧電振動子から成る圧覚センサにより、粘弾性体へのマイクロカテーテルの接触状況を、距離を隔てた所で検出することができるようになる。

【0099】次に、この発明の第5の実施例について説明する。図12乃至図16は、この第5の実施例に従ったマイクロ圧電振動子の製造方法による工程図である。各図に於いて、(a)は上面図、(b)は断面図である。

【0100】n⁻ Si基板100にp⁻ 拡散領域101を形成し、その中に一对のp⁺ 拡散領域102、103とメタルゲート104領域を形成することによってPチャンネルMOSを、また一对のn⁺ 拡散領域105、106とメタルゲート104によってnチャンネルMOSをそれぞれ形成している。また、コンタクトホール107、108間を配線109、110で相補的に接続し、またメタルゲートが両MOSで共有化されているので、これらから構成され、入力端子をメタルゲート、出力端子を端子パッド111、電源端子をコンタクトホール112からのパッド113、接地端子をコンタクトホール114からのパッド115としたインバータ回路が構成される。

【0101】更に、マイクロ圧電振動子形成部である領域はSi表面が酸化され、絶縁膜が薄く形成され、その上に圧電素子の圧電活性部の片側電極となる電極116、マイクロ圧電振動子、インバータ回路、帰還抵抗(図示せず)と共に発振回路の構成要素となる誘電体コンデンサ用片側電極117、118を、通常のSiデバイス技術で作成する(119、106)(以上図12)。

【0102】尚、メタルゲート用金属材料としては、後工程に加熱処理工程があるので、タングステンやモリブデンが好ましい。また、電極116、117、118用の材料としては、パラジウム、白金、銀、金のような材料が好ましい。

【0103】上記電極118はメタルゲート金属に、また電極117はパッド115に接続されている。上記領域は発振回路の出力を種々信号処理する回路であり、図11の片側の回路に相当する回路が構成されている。このような回路構成は、以上に記載したようなモノリシック半導体基板でも良いし、上述した第4の実施例のように、後に個別部品を混成的に配設しても良い。

【0104】次に、ジェットプリンティング法でPZT厚膜を形成する。ジェットプリンティングに使うPZT粉末材料は、成膜のやり易さ、圧電性の良さ、機械的強度の面からソフト系PZTが好ましい。次いで、400℃~700℃、10分~60分、または急速加熱法(R

17

TP)の場合には、500℃～700℃、5～60秒、空气中、酸素-窒素混合ガス、または酸素雰囲気中で熱処理を行う(以上図13)。

【0105】次に、金、銀、アルミニウム、パラジウム、ニッケル等の上部電極122、123、124を真空蒸着、スパッタ、ジェットプリンティング法等の方法で形成する。上部電極形成後、場合によっては同一の条件で再熱処理する(以上図14)。

【0106】更に、Si基板をTMAH、EDP、KOH等のエッチャントを用いてエッチングし、空隙部125を形成する。これによって、実質的に弾性部材126と圧電振動子を周囲で保持する基板部127に分割される。

【0107】尚、図15では、エッチングが圧電材料面まで完全に到達しているように示してあるが、必ずしもその必要はなく、必要とするマイクロ圧電振動子仕様、すなわちセンサ仕様の程度に応じて、図17(c)に示されるように、むしろSi材料部を僅かに、例えば基板の厚さの10%程度残し(128)、機械的強度の向上と圧電素子の露出面132の耐湿性や耐滅菌性の向上を図ることも、場合によっては必要である。

【0108】次いで、メタルゲート電極104と上部電極122との間に直流電圧を印加し、更に分極処理して、電極116と122間に挟まれた圧電素子領域を圧電活性化する(以上、図15)。

【0109】次に、結線129、130、131をし、耐滅菌性、耐湿性の向上を目的に検出対象物接触側A面と裏面Bにシリコン樹脂や、ポリウレタン樹脂やテフロン樹脂(商品名)等のような耐滅菌性、耐湿性の良い保護膜132、133を塗布、蒸着等の手段で形成する。

【0110】尚、裏面B側は直接振動面に接触するとマイクロ圧電振動子の振動効率が低下し、検出感度が低下する。したがって、ワックス等、加熱飛散する樹脂を振動面を被うようにして付着させ、保護膜133の加熱硬化時の熱で、このワックス等を飛散させることによって、空洞(空隙部134)を形成する(以上、図16)。

【0111】このように、第5の実施例に従った構造のマイクロ圧電振動子モジュールは、少なくとも1つの、圧電活性部と弾性体から成るマイクロ圧電振動子と、上記したインバータ回路等から成る発振回路の出力、すなわち中心周波数と振幅は、対象物が接触した時としない時で大きく変化し、特に生体のような粘弾性を対象物とした時に、周波数の変化の仕方と振幅の変化の仕方を個別に定量化することによって、粘弾性特性を知ることができる。

【0112】尚、同実施例では、発振器を1つ設けたモジュールとして述べたが、図11に示されるように、複数の発振器、すなわちセンサ部を設けた構造にも適用できる。

18

【0113】この第5の実施例の製造方法によれば、圧電セラミックスの研磨や切断工程が皆無で、また基板への接合工程や組立工程もない。このように、極めて簡単な工程で製造できるので、信頼性の高いマイクロ圧電・触覚センサを得ることができるようになる。

【0114】次に、図18(a)～(f)の製造工程図を参照して、この発明による第6の実施例を説明する。この第6の実施例の目的は、厚さの面内ばらつきの小さな圧電素子を有したマイクロ圧電振動子モジュールとモジュールアレイを製造することである。

【0115】上述した第5の実施例のような圧電厚膜の製造方法として、ジェット・プリンティング法を用いると、上記したような望ましい効果が得られる。この方法を用いたマイクロ圧電振動子モジュールの製造方法について、以下に述べる。

【0116】マイクロ圧電振動子モジュール用駆動回路をモノリシックに形成したエレメント137を、Siウェーハ136'薄片上に2次元に規則正しく形成する。そして、単位エレメント137が形成されたSiウェーハ136'の薄片の一部に、圧電素子サイズに同一の寸法の貫通孔138の位置が厚膜形成部139に合うように接合用低融点金属140を介して接合する(以上、(a)～(d))。

【0117】この上からジェットプリンティングのノズル141iをウェーハに近接させて図示矢印F方向に走査させ、孔138をマスクとして厚膜139i、139j、139k、…を形成する。しかる後、400℃～600℃、10分～60分、または急速加熱法(RTP)の場合には500℃～700℃、5～60秒、空气中、酸素-窒素混合ガス、或いは酸素雰囲気中で熱処理を行うことにより、厚膜焼結体を得ると同時に、Siウェーハ136及び136'を低融点金属部140i、140j、140k、…を溶解させて解離させる。

【0118】その後、各モジュールの境界線142i、142j、142k、…で切断する。この切断の仕方によって、単一のマイクロ圧電振動子モジュール、または1次元、2次元のマイクロ圧電振動子モジュールアレイが得られることは容易に分かる。

【0119】このように、第6の実施例によれば、単一だけでなく、1次元、2次元のマイクロ圧電振動子モジュールアレイが得られるだけでなく、上記した熱処理温度、雰囲気による半導体回路が受けるダメージが減り、また厚膜の膜厚分布が良くなり、厚膜のエッジ143が明確になり、きれいなパターンを形成できるという長所も有している。

【0120】尚、この発明の上記実施態様によれば、以下の如き構成が得られる。

(1) 両面にパターン化した電極を施した薄板状圧電素子と、この圧電素子の周辺で、該圧電素子を保持する基板と、上記圧電素子の少なくともパターン電極で挟ま

れた領域で、上記圧電素子が分極状態にあり、該パターン電極が配置された位置で、上記圧電素子に接合された弾性部材とを具備することを特徴とするマイクロ圧電振動子。

【0121】(2) 上記マイクロ圧電振動子に於いて、分極された圧電素子部と弾性部材の対構成が2つ以上あることを特徴とする上記(1)に記載のマイクロ圧電振動子。

【0122】(3) 上記マイクロ圧電振動子に於いて、マイクロ圧電振動子を形成していない、他の圧電素子部に誘電体コンデンサを複数併設した構造を有することを特徴とする上記(1)に記載のマイクロ圧電振動子。

【0123】(4) 上記マイクロ圧電振動子に於いて、2つ以上の分極された圧電素子の分極方向が互いに異なる方向を有していることを特徴とする上記(2)に記載のマイクロ圧電振動子。

【0124】(5) 上記圧電素子に接合された弾性部材が基板材料の材質と同一であることを特徴とする上記(1)に記載のマイクロ圧電振動子。

(6) 上記圧電素子に接合された弾性部材の厚さが基板の厚さと同一であることを特徴とする上記(1)に記載のマイクロ圧電振動子。

【0125】(7) 上記マイクロ圧電振動子に於いて、該弾性部材と基板の間に空隙部が存在することを特徴とする上記(1)に記載のマイクロ圧電振動子。

(8) 上記空隙部の深さDと基板の板厚Hの関係が、 $0.9H \leq D \leq H$ の関係にあることを特徴とする上記(7)に記載のマイクロ圧電振動子。

【0126】(9) 上記弾性部材は、その機械的品質係数 Q_m が上記圧電素子の機械的品質係数 Q_m より大きいことを特徴とする上記(1)に記載のマイクロ圧電振動子。

【0127】(10) 上記弾性部材の底面形状が上記圧電素子のパターン電極の形状に相似で、寸法が該圧電素子のパターン電極の $\pm 50\%$ 以内であることを特徴とする上記(1)に記載のマイクロ圧電振動子。

【0128】(11) 上記弾性部材と該圧電素子の厚さが、該マイクロ圧電振動子の厚さ方向基本振動の定在波の節が上記弾性部材と圧電素子の接合面に一致する寸法になっていることを特徴とする上記(1)に記載のマイクロ圧電振動子。

【0129】(12) 表裏に施した表面保護膜を更に具備することを特徴とする上記(1)に記載のマイクロ圧電振動子。

(13) 上記マイクロ圧電振動子の圧電素子側面で、上記保護膜と圧電素子に形成されたパターン電極部との間に空隙部を有することを特徴とする上記(12)に記載のマイクロ圧電振動子。

【0130】(14) 上記薄板状圧電素子がバルクセラミクス薄片加工し、微細切断加工によって製造されたものであることを特徴とする上記(1)に記載のマイクロ圧電振動子。

【0131】(15) 上記基板と上記圧電素子の接合部が圧電素子の電極/低融点金属層/基板の積層構造になっていることを特徴とする上記(14)に記載のマイクロ圧電振動子。

【0132】(16) 両面にパターン化した電極を施して薄板状圧電素子を形成する工程と、上記圧電素子の周辺で、該圧電素子を基板に保持する工程と、上記圧電素子の少なくともパターン電極で挟まれた領域で、上記圧電素子が分極状態にあり、上記パターン電極が配置された位置で、弾性部材で上記圧電素子に接合する工程とを具備し、上記弾性部材と基板の間に存在する空隙部が化学エッチング法によって形成されることを特徴とするマイクロ圧電振動子の製造方法。

【0133】(17) 上記(16)に記載のマイクロ圧電振動子の製造方法に於いて、上記パターン電極の形状に相似で、且つそれより寸法の大きな底面形状を有する柱状の陥没部を形成する工程と、この陥没部を形成する工程の後、該陥没部の底面形状と相似でそれより寸法が小さいが上記パターン電極寸法より大きい柱状弾性部材を接合する工程とを更に具備することを特徴とする上記(16)に記載のマイクロ圧電振動子の製造方法。

【0134】(18) 両面にパターン化した電極を施して薄板状圧電素子を形成する工程と、上記圧電素子の周辺で、該圧電素子を基板に保持する工程と、上記圧電素子の少なくともパターン電極で挟まれた領域で、上記圧電素子が分極状態にあり、上記パターン電極が配置された位置で、弾性部材で上記圧電素子に接合する工程とを具備し、上記薄板状圧電素子が厚膜成膜法によって形成されることを特徴とする上記(16)に記載のマイクロ圧電振動子の製造方法。

【0135】(19) 上記厚膜成膜法がジェットブリティング法(ガス・テボジット法)であることを特徴とする上記(18)に記載のマイクロ圧電振動子の製造方法。

(20) 基板の厚膜形成側表面に、予め圧電素子の片側電極となるパターン電極を形成する工程と、両面にパターン化した電極を施して薄板状圧電素子を形成する工程と、上記圧電素子の周辺で、該圧電素子を基板に保持する工程と、上記圧電素子の少なくともパターン電極で挟まれた領域で、上記圧電素子が分極状態にあり、上記パターン電極が配置された位置で、弾性部材で上記圧電素子に接合する工程とを具備し、上記薄板状圧電素子を形成する工程は、両面にパターン化した電極を施してバルクセラミクス薄片加工し、微細切断加工した後、熱処理工程と、他の側の電極形成工程と、分極処理工程とを経て形成することを特徴とする圧電活性な圧電素子部の

製造方法。

【0136】(21) 両面にパターン化した電極を施した薄板状圧電素子と、この圧電素子の周辺で、該圧電素子を保持する基板と、上記圧電素子の少なくともパターン電極で挟まれた領域で、上記圧電素子が分極状態にあり、該パターン電極が配置された位置で、上記圧電素子に接合された弾性部材とを具備し、上記基板が、圧電振動子駆動回路を混成的に配設していることを特徴とするマイクロ圧電振動子モジュール。

【0137】(22) 両面にパターン化した電極を施した薄板状圧電素子と、この圧電素子の周辺で、該圧電素子を保持する基板と、上記圧電素子の少なくともパターン電極で挟まれた領域で、上記圧電素子が分極状態にあり、該パターン電極が配置された位置で、上記圧電素子に接合された弾性部材とを具備し、上記基板が、圧電振動子駆動回路をモノリシックに配設した半導体基板であることを特徴とするマイクロ圧電振動子モジュール。

【0138】(23) 上記(21)若しくは(22)に記載のマイクロ圧電振動子モジュールに於いて、分極された圧電素子部と弾性部材の対構成を2つ以上有し、上記圧電振動子駆動回路は、複数の圧電振動子と複数のインバータ回路から成る複数の発振回路と、該複数の発振回路の複数の出力を合成する合成回路と、この構成回路の出力を増幅する増幅回路と、この増幅回路の出力を検波する検波回路と、この検波回路の出力を周波数値に変換する電圧-周波数変換回路と、駆動するセンサを順次切り換える手段とを備えることを特徴とする上記(21)若しくは(22)に記載のマイクロ圧電振動子モジュール。

【0139】(24) 上記(21)若しくは(22)に記載のマイクロ圧電振動子モジュールに於いて、2つ以上の分極された圧電素子の分極方向が互いに異なる方向を有し、上記マイクロ圧電振動子モジュールを構成する圧電振動子駆動回路は、複数の圧電振動子と複数のインバータ回路から成る複数の発振回路と、該複数の発振回路の複数の出力を合成する合成回路と、この構成回路の出力を増幅する増幅回路と、この増幅回路の出力を検波する検波回路と、この検波回路の出力を周波数値に変換する電圧-周波数変換回路と、駆動するセンサを順次切り換える手段とを備えることを特徴とする上記(21)若しくは(22)に記載のマイクロ圧電振動子モジュール。

【0140】(25) 上記(21)若しくは(22)に記載のマイクロ圧電振動子モジュールに於いて、分極された圧電素子部と弾性部材の対構成を2つ以上有し、上記圧電振動子駆動回路は、複数の圧電振動子と複数のインバータ回路から成る複数の発振回路と、該複数の発振回路の複数の出力を合成する合成回路と、この合成回路の出力を増幅する増幅回路と、この増幅回路の出力を低周波数に分周する分周回路と、この分周回路の出力を

外部に無線で伝達するFM送信回路と、駆動するセンサを順次切り換える手段とを備えたことを特徴とする上記(21)若しくは(22)に記載のマイクロ圧電振動子モジュール。

【0141】(26) 上記(21)若しくは(22)に記載のマイクロ圧電振動子モジュールに於いて、2つ以上の分極された圧電素子の分極方向が互いに異なる方向を有し、上記圧電振動子駆動回路は、複数の圧電振動子と複数のインバータ回路から成る複数の発振回路と、該複数の発振回路の複数の出力を合成する合成回路と、この合成回路の出力を増幅する増幅回路と、この増幅回路の出力を低周波数に分周する分周回路と、この分周回路の出力を外部に無線で伝達するFM送信回路と、駆動するセンサを順次切り換える手段とを備えたことを特徴とする上記(21)若しくは(22)に記載のマイクロ圧電振動子モジュール。

【0142】(27) 両面にパターン化した電極を施して、バルクセラミクス薄片加工し、微細切断加工によって形成される薄板状圧電素子と、この圧電素子の周辺で、該圧電素子を保持する基板と、上記圧電素子の少なくともパターン電極で挟まれた領域で、上記圧電素子が分極状態にあり、該パターン電極が配置された位置で、上記圧電素子に接合された弾性部材とを具備し、上記薄板状圧電素子は、該圧電素子の中央部若しくはその近傍に、複数の分極領域が予め形成されたものであることを特徴とするマイクロ圧電振動子モジュール。

【0143】(28) 両面にパターン化した電極を施した薄板状圧電素子と、この圧電素子の周辺で、該圧電素子を保持する基板と、上記圧電素子の少なくともパターン電極で挟まれた領域で、上記圧電素子が分極状態にあり、該パターン電極が配置された位置で、上記圧電素子に接合された弾性部材とを具備し、上記基板の接合部が圧電素子の電極/樹脂接着剤層/基板の積層構造になっていることを特徴とするマイクロ圧電振動子モジュール。

【0144】(29) 上記圧電素子に用いる材料は光透過性物質から成ることを特徴とする上記(28)に記載のマイクロ圧電振動子モジュール。

(30) 上記光透過性物質は、強誘電体単結晶若しくは透明セラミクスであることを特徴とする上記(29)に記載のマイクロ圧電振動子モジュール。

【0145】(31) 上記樹脂接着剤層は、紫外線硬化樹脂から成ることを特徴とする上記(30)に記載のマイクロ圧電振動子モジュール。

(32) 上記(19)に記載のマイクロ圧電振動子の製造方法に於いて、上記薄板状圧電素子を形成する工程は、該圧電素子の形状及び寸法にほぼ等しい形状、寸法の孔の開いたマスクを基板上に配置し、この孔空き部越しにジェットプリンティングした後、該マスクを除去することによって所定の寸法に形成することを特徴とする

マイクロ圧電振動子モジュールの製造方法。

【0146】(33) 上記(1)に記載のマイクロ圧電振動子を1次元若しくは2次元に配列したことを特徴とするアレイ型マイクロ圧電振動子モジュール。

(34) 単一のアレイ型のマイクロ圧電振動子モジュールの製造方法に於いて、第1のSiウエーハ上に、単位のマイクロ圧電振動子駆動回路を集積回路プロセスを用いて2次元状に規則正しく配列形成する工程と、上記第1のSiウエーハと同一寸法の第1のSiウエーハを上記第1のSiウエーハの圧電厚膜形成側の面に接合する工程と、単位のマイクロ圧電振動子駆動回路の配列の規則性に合致し、且つ圧電厚膜形成予定領域に合致した位置で、接合した第1及び第2のSiウエーハに圧電厚膜の寸法にほぼ等しい孔を同じ規則性で開けるSiウエーハマスク形成工程と、このSiウエーハマスクで形成されたSiウエーハマスクに向けてジェット噴射ノズルを相対的に走査してジェットプリントする工程と、上記Siウエーハマスクの接合部を溶解除去し、Siウエーハマスクを剥離除去する工程と、熱処理工程と、裏面電極形成工程と、上記裏面電極とこの裏面電極に対向した電極との間に直流電圧を印加する分極工程と、マイクロ圧電振動子駆動回路の端子と、誘電体コンデンサ部、圧電活性領域電極間を接続する配線工程と、弾性部材と基板の間に存在する空隙部を形成する工程と、表面保護膜を形成する工程と、単位のマイクロ圧電振動子と駆動回路から成るモジュールが1つ若しくは所定の数の1次元または2次元に配列したアレイ型マイクロ圧電振動子モジュールを得る切断工程と、を具備することを特徴とする単一のアレイ型のマイクロ圧電振動子モジュールの製造方法。

【0147】(35) 上記(1)に記載のマイクロ圧電振動子を構成する弾性部材頭部に直接、若しくは保護膜を経て間接的に物体が接触、押圧する情報を、該マイクロ圧電振動子の共振周波数、または共振インピーダンス、または共振周波数を含む近傍の周波数での位相変化に変換することによって、物体の接触、押圧状態を検出することを特徴とするマイクロ圧覚若しくはマイクロ触覚センサ。

【0148】上記(1)の実施態様によれば、圧電素子に弾性部材を接合しているので、共振器長が長くなる。このため、マイクロ圧電振動子全体としての、共振周波数が低下し、動作させやすい周波数領域になる。また圧電素子は、その周囲で保持され、しかもパターン電極で振動を励起し、圧電素子の周辺のみで保持しているので、振動の漏洩が起こらず、厚み閉じ込め振動のみが起こる。更に、弾性部材に圧電素子より Q_m の大きな材料を用いることにより、圧電振動子の平均的な Q_m が大きくなり、不要振動を含まない共振先鋭度 Q_m の大きな効率の良い圧電振動となる。また当然ながら、接合した弾性部材が保持基板として配設されているので、基板が振

動に悪影響を及ぼすことがない。この圧電振動は圧電素子の厚さ方向、すなわち弾性部材の表面で、面に垂直な方向の振動をする。したがって、弾性部材の表面を対象物に接触、押圧すると、対象物の深さ方向の粘弾性特性の情報を得ることができる。一方、変形例の構造は圧電素子の分極方向が電極面に沿っているため、弾性部材の表面で、面に沿った方向の振動をする。したがって、弾性部材の表面を対象物に接触、押圧すると、対象物の横方向の粘弾性特性の情報を得ることができる。

10 【0149】これにより、マイクロ圧電振動子は不要振動を含まない共振先鋭度 Q_m の大きな効率の良い圧電振動をするので、弾性部材が対象物から接触、押圧を受けた時、大きな共振周波数や共振抵抗の変化を示すことになり、高感度のセンサとして用いることができる。

【0150】また、上記(2)の実施態様によれば、複数対の圧電振動子が形成されていても、それぞれの圧電活性部の電極はパターン電極となっていて厚み閉じ込め振動をするので、それぞれの振動が干渉し合うことがなく、個々に独立に振動させることができる。したがって、例えば接触した対象物の離間した2点の粘弾性特性の違いを検出することができる。

20 【0151】上記(3)の実施態様によれば、圧電振動子と一対の誘電体コンデンサとインバータ回路で発振回路を構成する。この一対のコンデンサを同一材料で形成し、極力配線を減らす。したがって、同一素子エレメント内にモノリシックにコンデンサを形成し、マイクロ化を図ることが可能となる。

【0152】上記(4)の実施態様によれば、異なる方向に分極した圧電活性領域を対にして用いるので、一方は弾性体の表面に対して垂直方向、他方は表面に沿った方向に振動する。また、両者の共振周波数はほぼ2:1となる。故に、1つのマイクロ圧電振動子で、生体等の対象物の粘弾性の異方性(深さ方向と両方向)を検出できる。

【0153】上記(5)の実施態様によれば、圧電素子圧電活性部に接合する弾性部材も同じように機械的品質係数 Q_m の大きい材料を用いることになる。しかも、基板を周辺保持構造に加工した後に、接合するのではない。したがって、基板と共用することによって加工組立を容易にし、且つ圧電振動子のみかけの Q_m を大きくしてセンサの感度を向上させることができる。

【0154】上記(6)の実施態様によれば、弾性部材の方を基板より厚くして突出し過ぎないようにでき、また弾性部材を基板より薄くして、へこみ過ぎないようにする。したがって、弾性部材が過剰な力を受け、圧電素子が破壊したり、受圧面である弾性部材の表面が生体対象物に接触しなくなるようになる。これによって、信頼性の高いマイクロ圧電振動子の実現でき、信頼性の高いマイクロ圧覚、マイクロ接触センサの利用が可能となる。

【0155】上記(7)の実施態様によれば、空隙部の存在によって弾性部材断面と基板断面とがすれあったり、ぶつかったりすることがない。よって、マイクロ圧電振動子部の振動が基板に漏れて振動の効率を悪くすることがないので、機械的品質係数 Q_m の大きなマイクロ圧電振動子が形成でき、高感度のマイクロ圧覚、マイクロ触覚センサを実現することができる。

【0156】上記(8)の実施態様によれば、圧電素子の厚さがそのまま残るか、または、基板の材料がわずかな厚さで残る。故に、僅かに残る厚さが薄すぎも厚すぎもしないので、機械的強度が保持され、また振動が弾性部材から漏れて、マイクロ圧電振動子の機械的品質係数が低下し、センサとして利用した時の感度が低下するというものもない。また、 $0.9H \leq D \leq H$ の場合は基板の残る厚さが有るので、圧電素子を始め、基板の反対側の表面に形成した部材が対象物側に直接露出しないので、耐湿、耐滅菌性に強く、信頼性の高いマイクロ圧覚、触覚センサを実現することができる。

【0157】上記(9)の実施態様によれば、圧電素子は誘電率や圧電定数の大きさ、機械的強度という点で機械的品質係数 Q_m が小さい材料を使い、弾性部材は機械的品質係数 Q_m の大きい材料を用いることになるので、マイクロ圧電振動子の平均としての Q_m が大きくなる。これによって、誘電率が大きいので、面積が小さくても浮遊容量に比べ大きな静電容量が得られる。また、圧電定数が大きく、 Q_m も大きいので、感度が良く効率の良いマイクロ圧覚、触覚センサを実現することができる。

【0158】そして、上記(10)の実施態様によれば、 -50% より小さいと圧電振動子の厚さが階段状となり、複数の振動モードがたち、振動エネルギーが分散し目的とした振動モードの共振先鋭度が低下する。また、 $+50\%$ 以上となると空隙部の空間が小さくなり、水蒸気のような僅かなわずかなガスが吸着しやすくなり、また、ほこり等の微粒子が入り込んだ時に、それを介して基板断面と弾性部材断面とが擦れ合い特性が不安定になる。 $\pm 50\%$ 以内であれば、このようなことにならない。したがって、信頼性を低下させることなく良好な振動子特性を示すことができる。

【0159】上記(11)の実施態様によれば、マイクロ圧電振動子の接合部で最も変位が小さくなるので、接合部にかかる内部応力が少なくなる。したがって、マイクロ圧電振動子の節部が機械的強度の最も弱い接合部に成るように設計するので、長期に渡ってマイクロ圧電振動子が破壊することなく、高い信頼性で長期間使用することができる。

【0160】上記(12)の実施態様によれば、マイクロ圧電振動子の構成部材や駆動回路素子が湿気、滅菌液、血液に直接接触することがなくなる。また弾性部材にも薄い膜として接するのみなので、マイクロ圧電振動子の振動を阻害することはない。したがって、耐環境性に

優れたマイクロ圧電振動子が得られ、これによって、耐環境性に優れたマイクロ圧覚センサやマイクロ触覚センサが得られる。また、裏面側は耐環境性だけでなく機械的強度も増加する。

【0161】上記(13)の実施態様によれば、裏面側の保護膜に直接触れないので、マイクロ圧電振動子の Q_m が低下せず、従ってマイクロ圧覚センサ、またはマイクロ触覚センサに利用した時、感度低下を起こさずに保護膜の効果を発揮できる。

【0162】上記(14)の実施態様によれば、1枚の薄板状圧電素子内に複数の異なる分極方向を形成する。この薄板状圧電素子をマイクロ圧電振動子に用いることにより、機械的強度の大きな圧覚センサ、触覚センサが得られる。

【0163】更に、上記(15)の実施態様によれば、該接合層は薄板状圧電素子と、その周囲で支持する基板との周囲保持部の接合及び圧電素子圧電活性部に施されたパターン電極と、基板と同一材質から成る弾性部材との接合に併用する。したがって、圧電素子と基板との周囲保持部での接合が強固になり信頼性向上に寄与すると同時に、圧電素子と弾性部材の接合も圧電体より大きな機械的品質係数 Q を有する金属で行われるのでマイクロ圧電振動子としての Q_m も大きくでき、マイクロ圧覚センサ、マイクロ触覚センサとして利用する際の感度向上につながる。また、キュリー温度以下の温度で融解する低融点金属を用いるので、圧電素子の分極状態を劣化させることもない。

【0164】上記(16)の実施態様によれば、目的の領域に微細な弾性部材領域を所定の空隙部寸法で基板面に垂直方向に容易にできる。また、エッチングは Si を全てエッチングしたところでも PZT 圧電素子材料がエッチングされることはない。故に、微細なマイクロ圧電振動子を同時に多数、ばらつきなく製造することができる。また、空隙の深さ D と基板の板厚 H が $D=H$ である条件が自動的に実現される。

【0165】上記(17)の実施態様によれば、弾性部材の材質、底面形状を選択できる範囲が広がる。したがって、弾性部材表面に沿った振動に対してのみ弾性率の大きな、異方性のある弾性材料を利用することが可能となる。

【0166】上記(18)の実施態様によれば、接着層が一切なく、薄板状圧電素子が $5 \sim 50 \mu m$ の厚膜となる。よって、最適の静電容量値が得られ、センサとして利用すると S/N の良好なセンサが得られる。また接着時に必要なマイクロ位置合わせ、マイクロ接合、薄板状圧電素子のマイクロハンドリングといった煩わしく、信頼性に致命的な影響を及ぼしかねないマイクロ加工・組立技術を用いないで済む。高信頼性、高品質のマイクロ圧覚、接触センサを再現性良く、低いコストで製造できるようになる。

【0167】上記(19)の実施態様によれば、所定のサイズ、例えば100ミクロン角のノズルを用いると、そのサイズで膜厚が5~50ミクロンのPZT厚膜が成膜できる。これは、湿式成膜法ではなく、バインダ成分を一切用いていない。したがって、フォトリソ工程を必要としないで、微小サイズ5~50ミクロンの圧電厚膜が形成できる。また、圧電厚膜も、その内部に不要イオンを残存しないので、経時特性に優れた圧電厚膜が得られ、安定な動作をするマイクロ圧電振動子が得られる。

【0168】また、上記(20)の実施態様によれば、マイクロ圧電振動子を構成する圧電厚膜の圧電活性部が形成できる。したがって、マイクロ圧電振動子が再現性良く得られる。

【0169】上記(21)の実施態様によれば、マイクロ圧電振動子とその駆動回路用部品を極近に近在させて動作させる。したがって、配線に重畳する高周波雑音等を除去できる。マイクロ圧電振動子と駆動回路をモジュール化し極力マイクロ化すると共に、S/N劣化を防ぐことができる。また、基板の材質の選択の自由度が大きくなる。

【0170】上記(22)の実施態様によれば、モノリシックにマイクロ圧電振動子の駆動回路やセンサ信号処理回路を半導体プロセスで形成しておき、圧電素子接合後、Siマイクロ加工技術、特に化学エッチング法で弾性部材部を形成することが容易にできる。これにより、マイクロ化が可能なマイクロ圧電振動子モジュールが実現でき、且つSiで弾性部材を構成することになるので、感度の良いセンサとして利用できる。

【0171】上記(23)及び(24)の実施態様によれば、マイクロ圧電振動子を含んだ複数の発振回路のそれぞれの出力、特にその発振回路数が異なる場合、その複数の処理回路(増幅器、2波合成回路)を経て複数の信号を合成して、1つの振動にした上で電源線と導く。したがって、1つのモジュール当たりのセンサ信号が複数になっても、同一の電源線に乗せられるので、省線化に貢献することができる。

【0172】そして、上記(25)及び(26)の実施態様によれば、複数のセンサ信号が1つの信号へ合成された後、その出力を低周波数に分周されFM変調手段を備えたFM送信回路を経て、無線で信号伝達される。したがって、更に省線化できると共に、1モジュール当たり複数のセンサ信号をモニタできる位置の自由度が大きくなる。例えば、マイクロカテーテルにセンサモジュールを搭載し、カテーテルを体内に挿入する時、センサ信号のモニタは必ずしもカテーテルの操作部を経る必要がなくなり、操作性が大幅に飛躍する。

【0173】上記(27)の実施態様によれば、1つの基板状圧電素子で異なる方向の振動を起こせるマイクロ圧電振動子を構成する。したがって、このマイクロ圧電振動子をマイクロ触覚センサに利用することにより、微

小寸法で異なる方向の対象物の粘弾性特性を検出できるようになる。

【0174】上記(28)の実施態様によれば、該接合層は薄板状圧電素子と、その周囲で支持する基板との周囲保持部の接合、及び圧電素子圧電活性部に施されたパターン電極と、基板と同一材質から成る弾性部材との接合に作用する。よって、低融点金属合金を用いて接合する時のように、基板側、圧電素子側共に接合用パッドを必要としない。また弾性部材形成時、化学エッチング法を使用すると、この絶縁性樹脂接着層の存在によって、エッチングがストップし、圧電材料が腐食されることを防げる。更に、この絶縁性樹脂接着層は最終的にも圧電素子等、弾性部材、すなわち受圧部と反対側に配設された電極、配線、回路部品等に対する測定環境による損傷を和らげるという効果を有している。

【0175】上記(29)及び(30)の実施態様によれば、透明であるため、接合部の接合状態が明瞭に観察できる。これにより、圧電素子と基板、または圧電素子と弾性部材の間に強固な接合状態を実現でき、信頼性の高いマイクロ圧電振動子モジュールの実現に寄与する。

【0176】上記(31)の実施態様によれば、光照射で接合を実現することができる。つまり、一切加熱を必要とせずに接合ができるので、マイクロ圧電振動子モジュールに至を残さない。したがって、信頼性の高いセンサモジュールを提供することができる。

【0177】上記(32)の実施態様によれば、孔空き部越しジェットプリンティングし、該マスクを除去することによって、厚さ分布が小さく、厚膜のエッジのきれいな微小寸法の圧電厚膜を形成することができる。

【0178】また、上記(33)の実施態様によれば、1次元または2次元的に対象物に接触し、広がりのある対象物の粘弾性特性分布を検出できるようになる。上記(34)の実施態様によれば、一度にウェーハ単位の成膜を行うことができるので、特性ばらつきの少ない、単位、または1次元、または2次元モジュールが多数再現性良く得られる。

【0179】そして、上記(35)の実施態様によれば、マイクロ圧電振動子に圧力が加わったり、特定の機械インピーダンスを有する対象物が接触すると、特定の周波数でのマイクロ圧電振動子の位相が変化する。この位相変化を検出する手段とで感度の良いマイクロ圧電センサとなる。したがって、感度、S/Nの良いマイクロ圧電センサが得られる。

【0180】

【発明の効果】以上のようにこの発明によれば、生体が有する圧覚情報または粘性特性やその異方性、非線形といった触覚情報を検出することのできるマイクロ圧電振動子とその製造方法及びマイクロ圧電振動子モジュールとその製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明による第1の実施例を示したマイクロ圧電振動子の構成図で、(a)は上面図、(b)は断面図、(c)は(b)の一部を拡大した断面図、(d)は下面図である。

【図2】第1の実施例によるマイクロ圧電振動子の製造工程途中を示したもので、(a)は上面図、(b)は断面図、(c)は薄板状圧電素子の電極構造を示した図、(d)は基板への接合面側に於ける薄板状圧電素子の電極構造を示した図である。

【図3】第1の実施例によるマイクロ圧電振動子の製造工程途中を示したもので、(a)は上面図、(b)は断面図、(c)は(b)の一部を拡大して示した断面図である。

【図4】第1の実施例によるマイクロ圧電振動子の製造工程途中を示したもので、(a)は上面図、(b)は断面図である。

【図5】第1の実施例によるマイクロ圧電振動子の製造工程途中を示したもので、(a)は上面図、(b)は断面図である。

【図6】この発明の第2の実施例を示した構造を示したもので、(a)は上面図、(b)は断面図である。

【図7】この発明の第3の実施例によるマイクロ圧電振動子の構造を示したもので、(a)は上面図、(b)は断面図、(c)は圧電素子に施された電極及び接合パッドを示した図、(d)は基板への接合面側に於ける圧電素子の電極構造を示した図である。

【図8】第3の実施例によるマイクロ圧電振動子用薄板圧電素子の製造工程を示した図である。

【図9】図7のマイクロ圧電振動子をセンサに応用した場合の信号伝送系を示すブロック図である。

【図10】この発明の第4の実施例によるマイクロ圧電振動子をセンサに応用した場合の信号処理系の回路図である。

【図11】第4の実施例によるマイクロ圧電振動子モジュールの構造を示したもので、(a)は上面図、(b)は断面図、(c)は圧電素子の電極構造を示した図、(d)は基板への接合面側に於ける圧電素子の電極構造を示した図である。

【図12】この発明の第5の実施例に従ったマイクロ圧電振動子モジュールの製造方法による工程途中を示したもので、(a)は上面図、(b)は断面図である。

【図13】この発明の第5の実施例に従ったマイクロ圧電振動子モジュールの製造方法による工程途中を示したもので、(a)は上面図、(b)は断面図である。

【図14】この発明の第5の実施例に従ったマイクロ圧電振動子モジュールの製造方法による工程途中を示したもので、(a)は上面図、(b)は断面図である。

【図15】この発明の第5の実施例に従ったマイクロ圧電振動子モジュールの製造方法による工程途中を示したもので、(a)は上面図、(b)は断面図である。

【図16】この発明の第5の実施例に従ったマイクロ圧電振動子モジュールの製造方法による工程を示したもので、(a)は上面図、(b)は断面図である。

【図17】第5の実施例の変形例を示したもので、(a)は上面図、(b)及び(c)は断面図である。

【図18】この発明の第6の実施例によるマイクロ圧電振動子モジュールとモジュールアレイの製造工程を示した図である。

【図19】従来の脳血管診断治療用マイクロカテーテルの使用状態を示した図である。

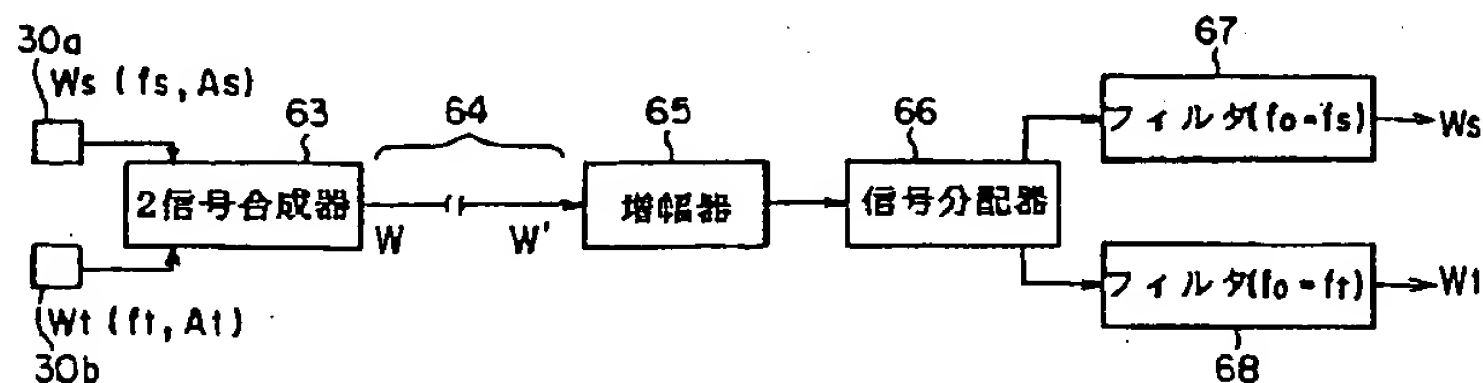
【図20】図19のマイクロカテーテルの使用状態を拡大して示した図である。

【図21】従来の圧電振動子の構造を示した図である。

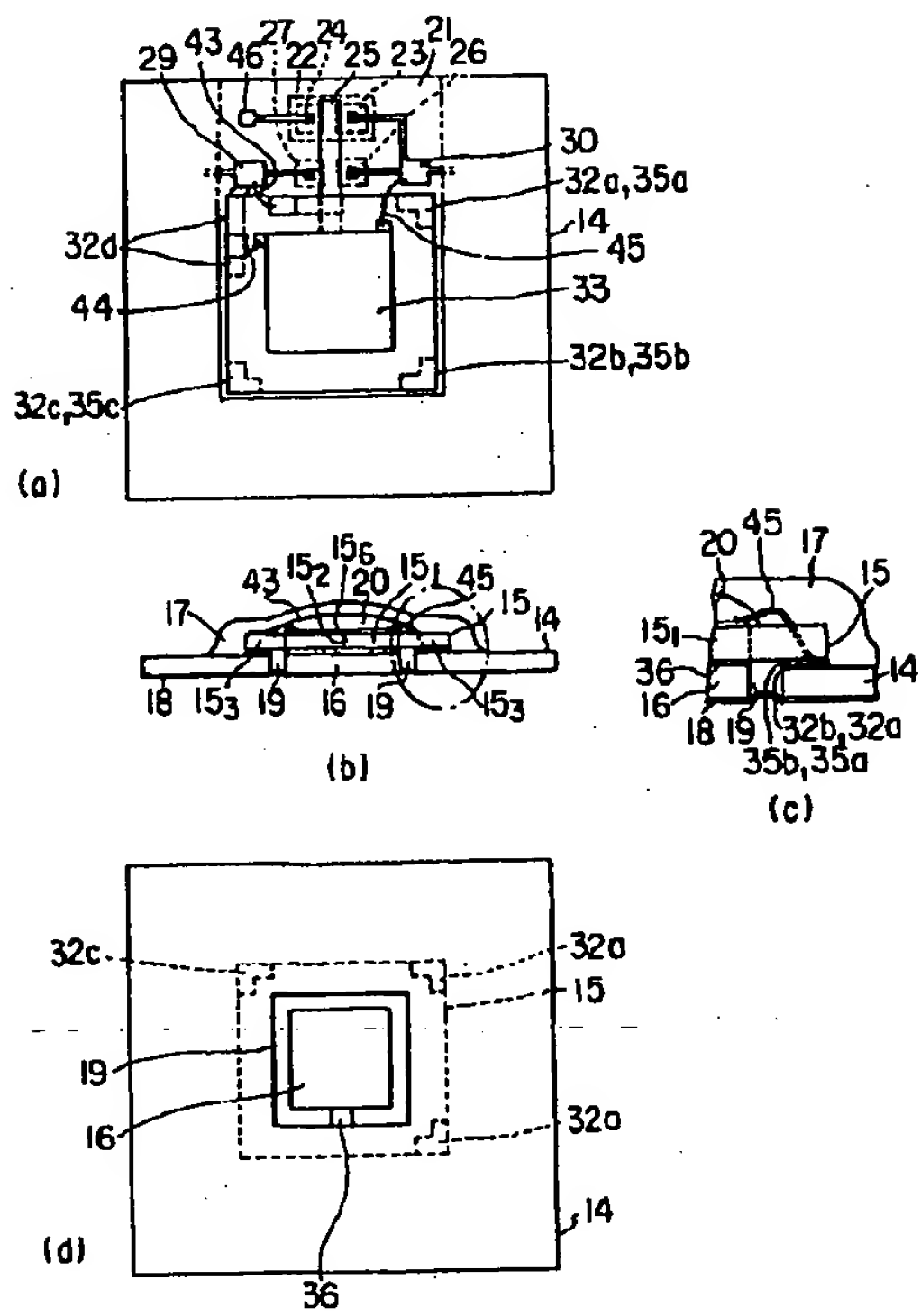
【符号の説明】

14…基板、15…圧電素子、15₁…分極部、16…弾性部材、17…背面保護膜、18…表面保護膜、19、20…空隙部、21…n⁻ Si基板、22…p⁻ 領域、23、24…n⁺ 領域、25…メタルゲート領域、26、27…p⁺ 領域、28、43、44、45…配線、29…端子パッド、30…パッド部、31…信号処理回路、32a、32b、32c、32d、34…接合用パッド、33…圧電活性部電極、35a、35b、35c…接合部、36…圧電活性部電極、37、38…誘電体コンデンサ用電極、39、40…誘電体コンデンサ用電極、41、42…誘電体コンデンサ部、46…電源端子。

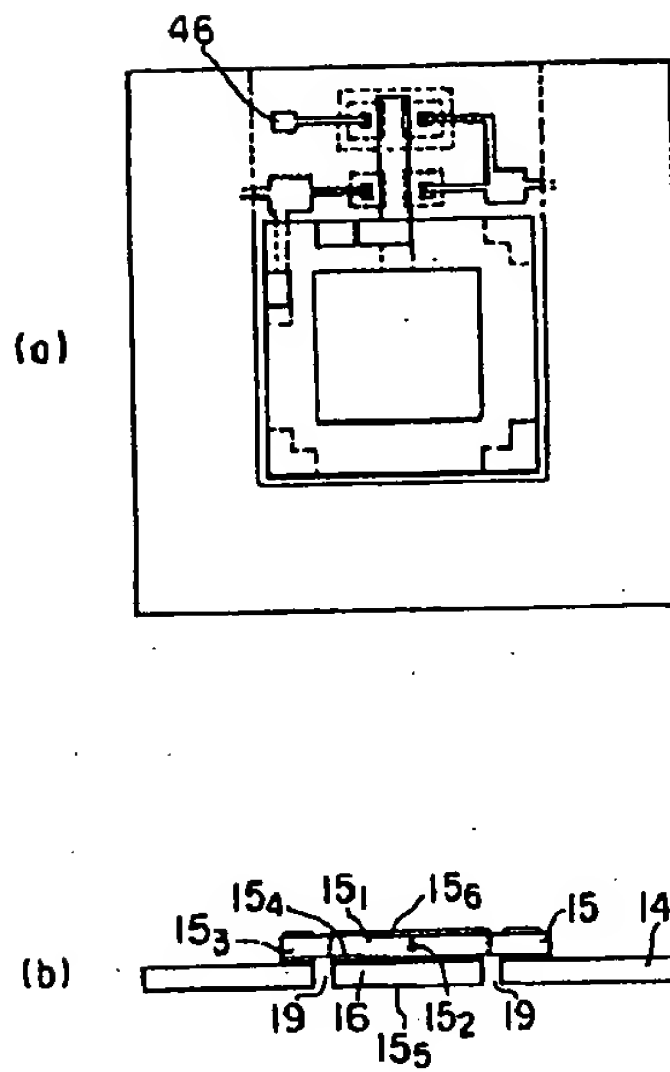
【図9】



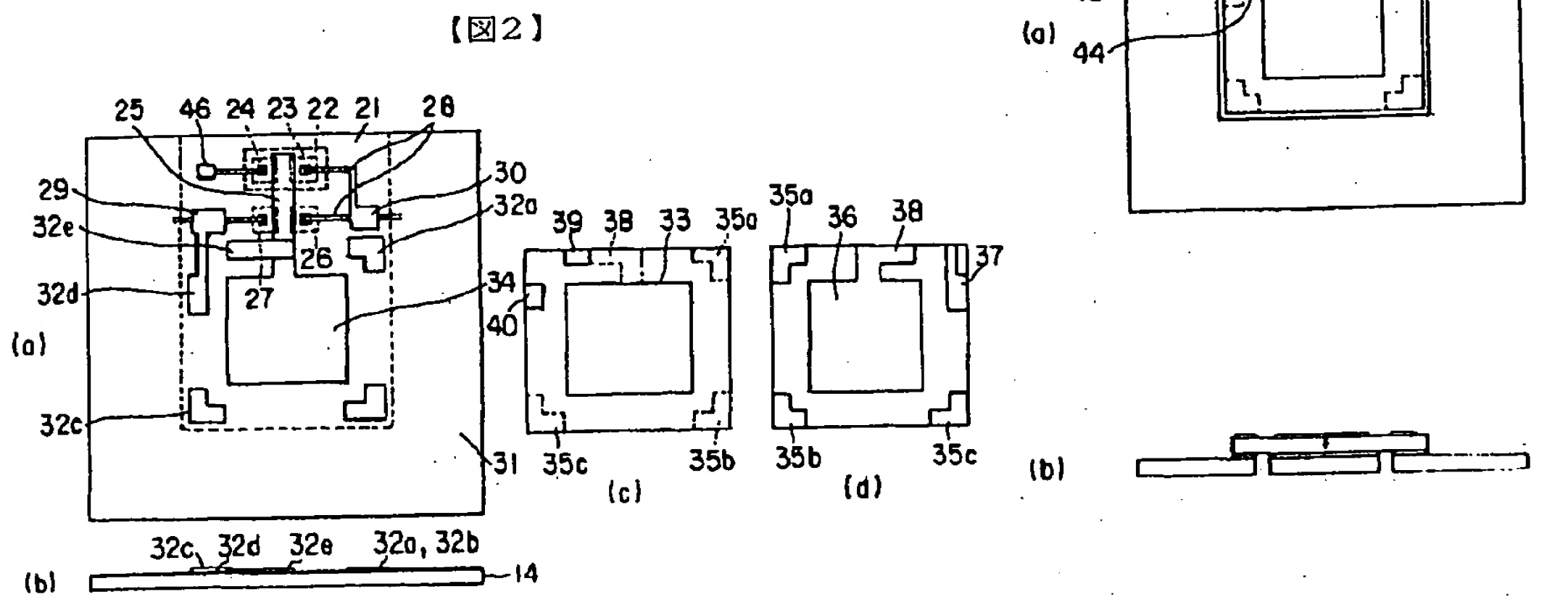
【図1】



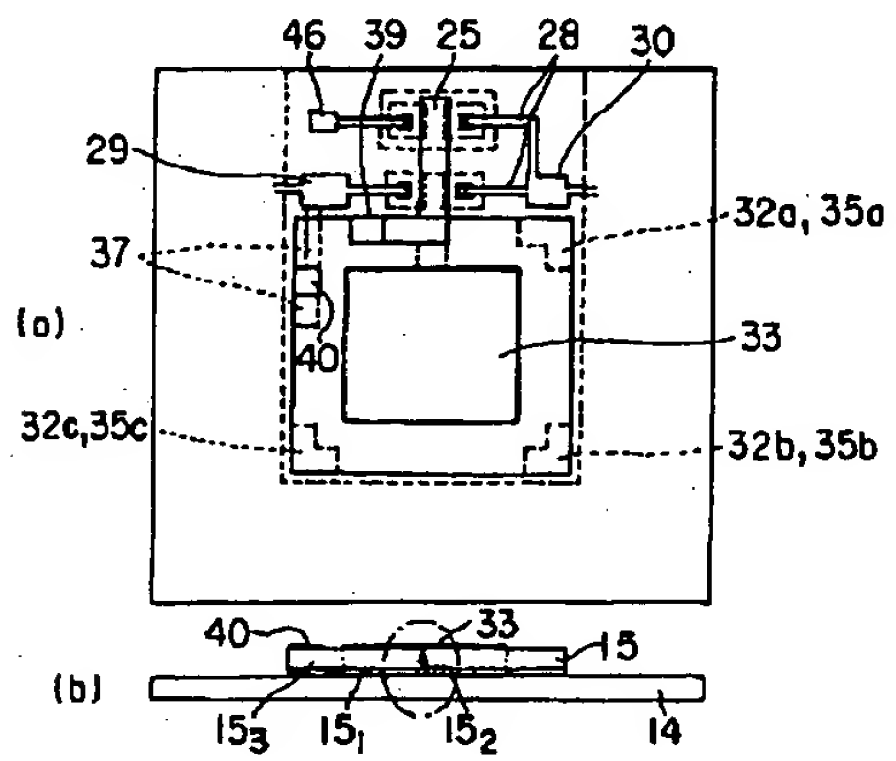
【図4】



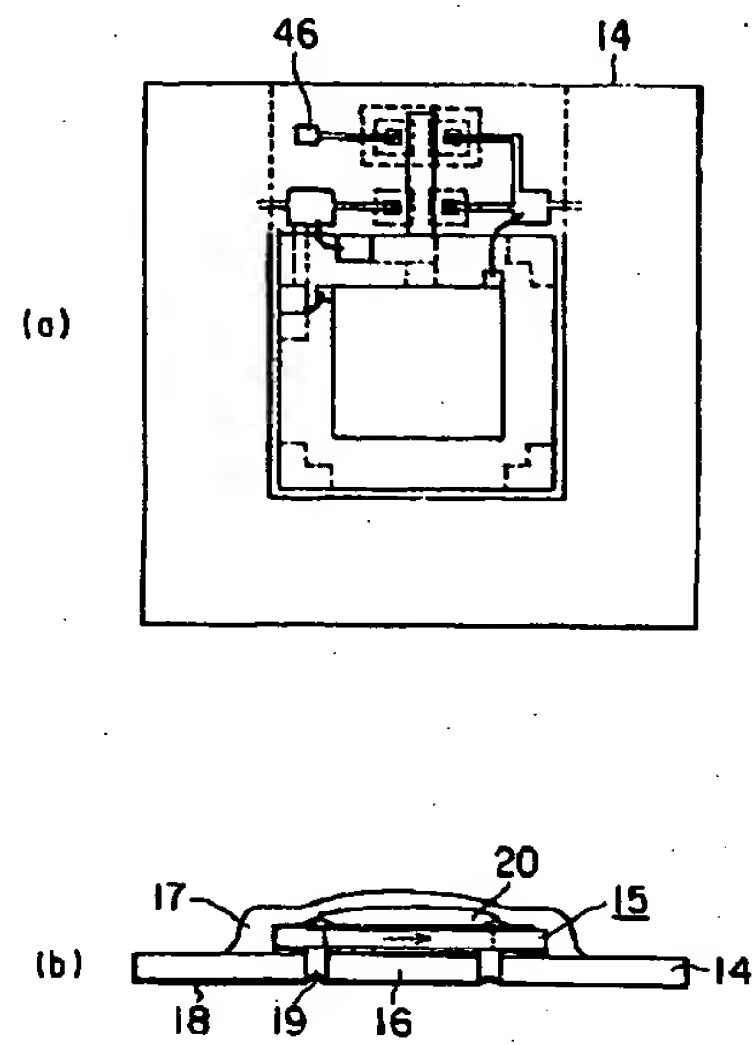
【図5】



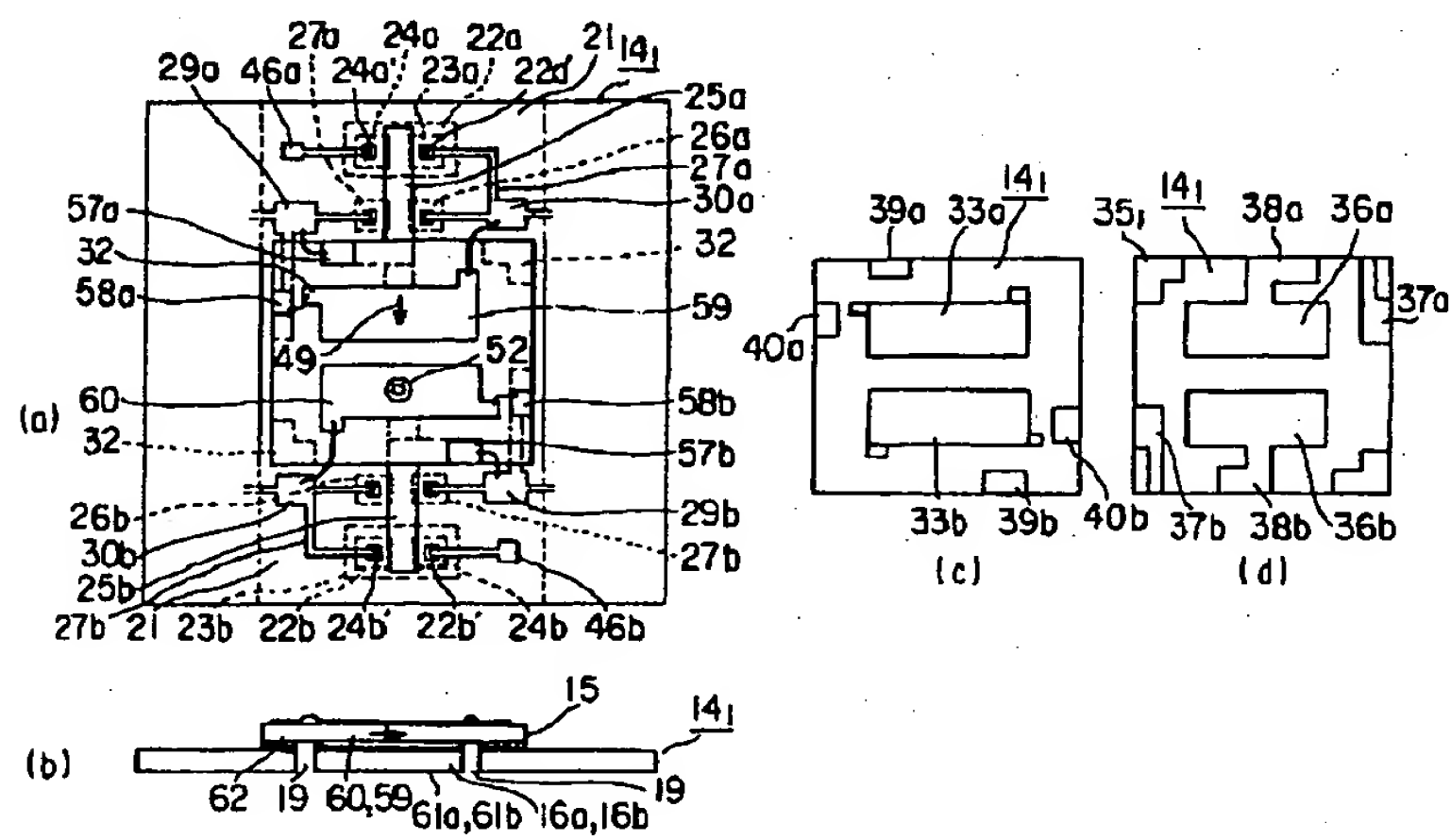
【図3】



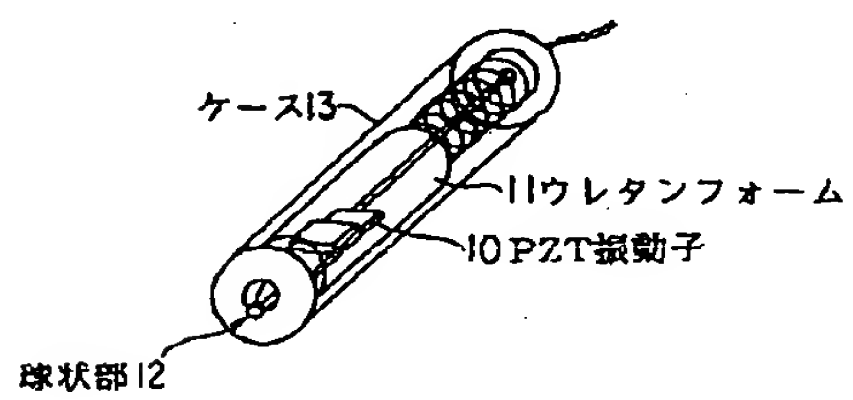
【図6】



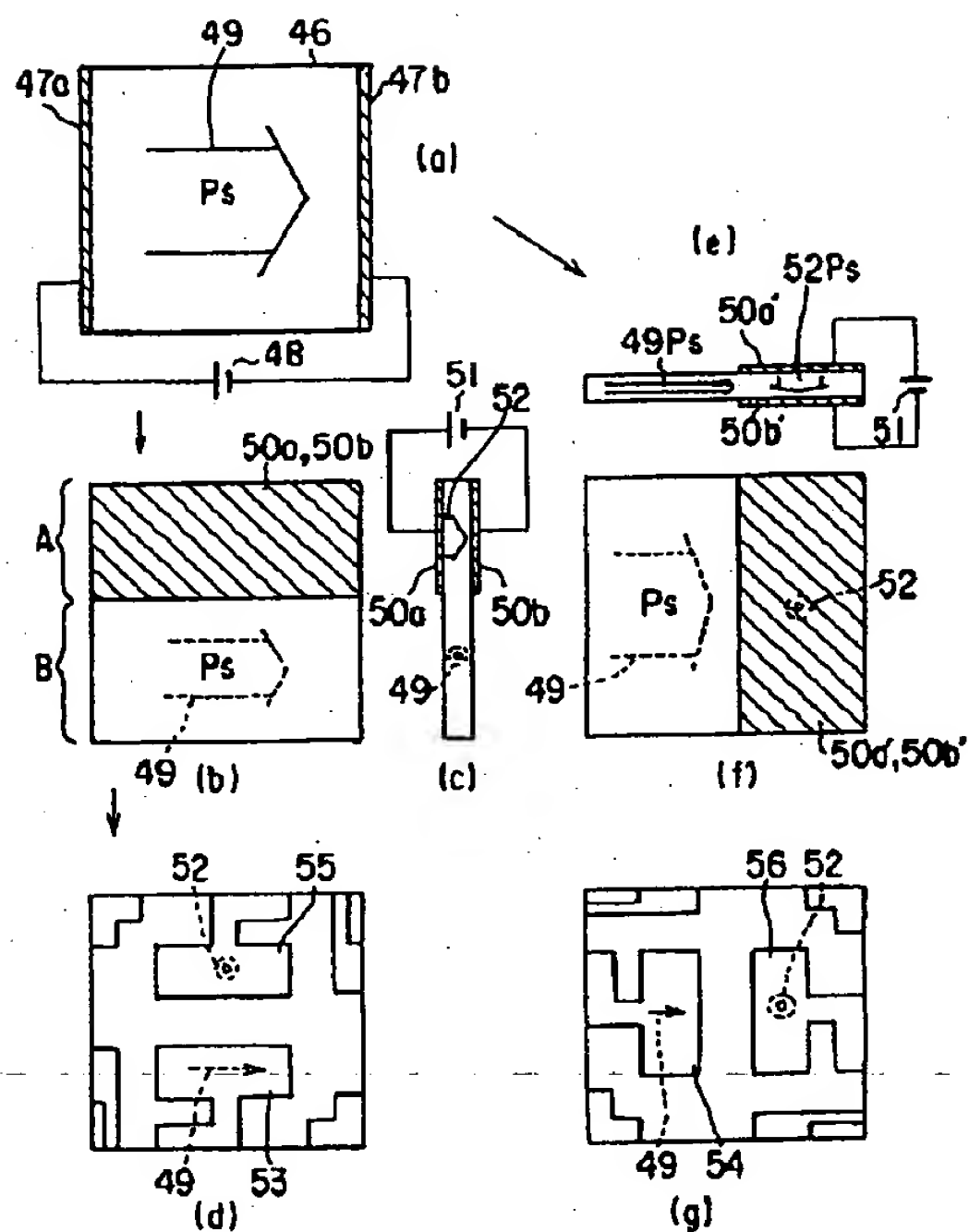
【図7】



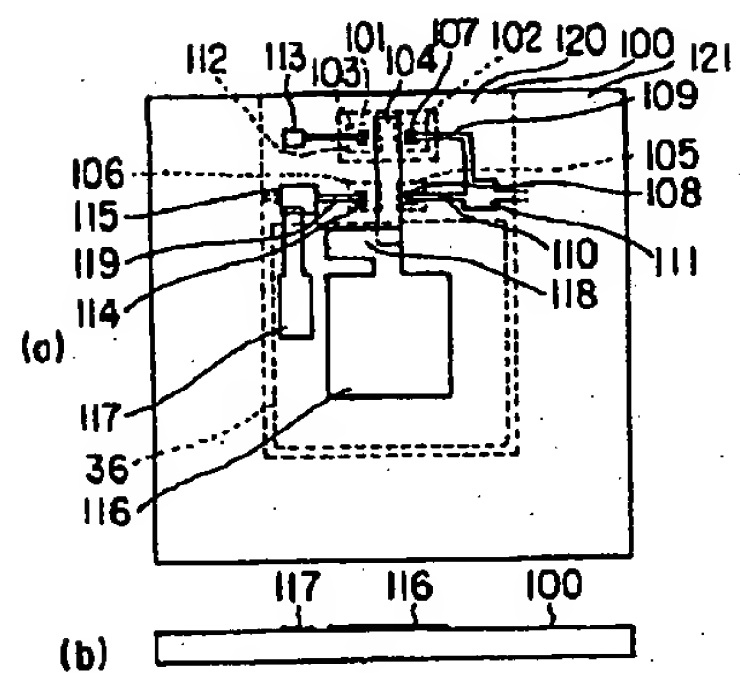
【図21】



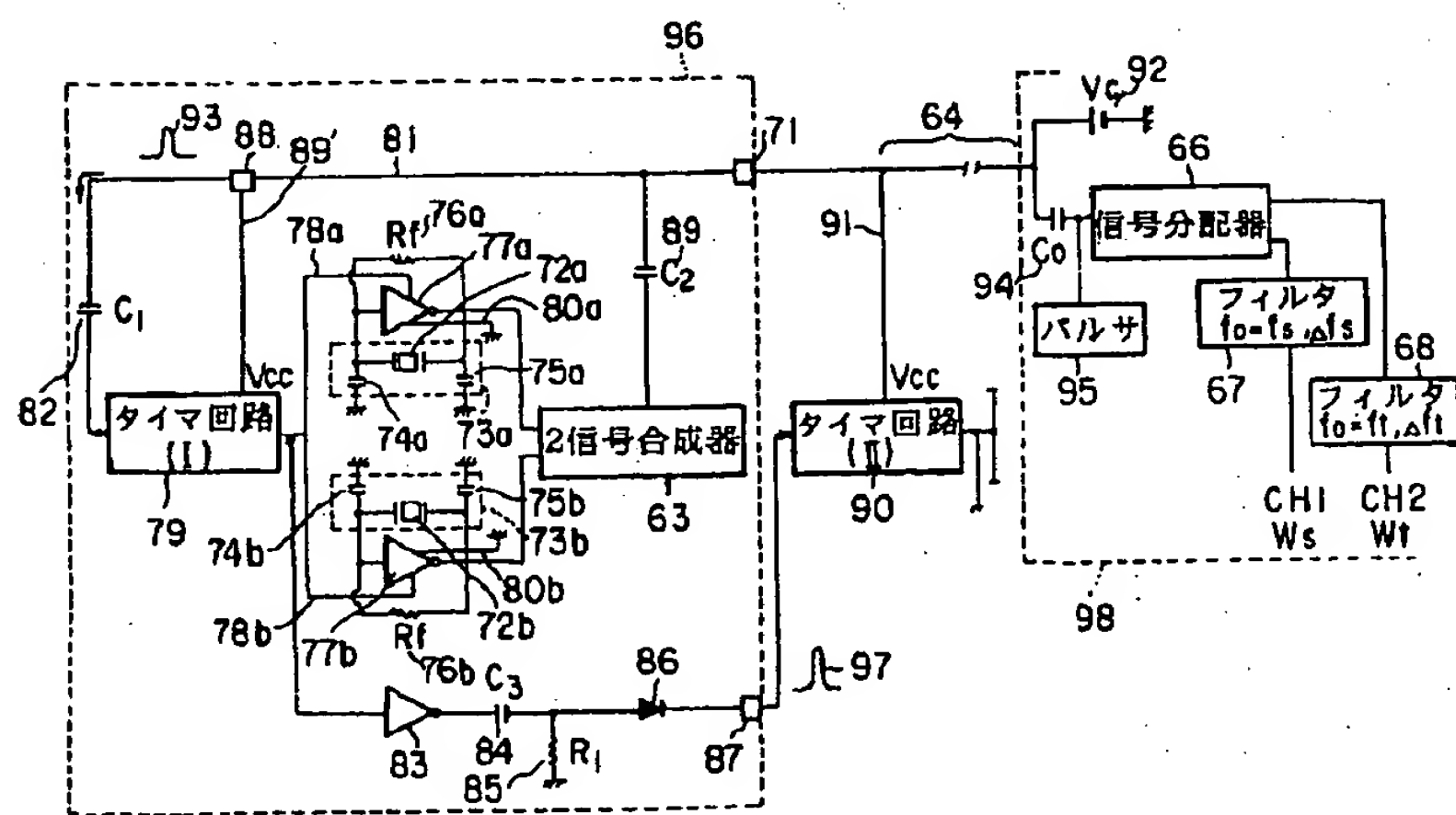
【図8】



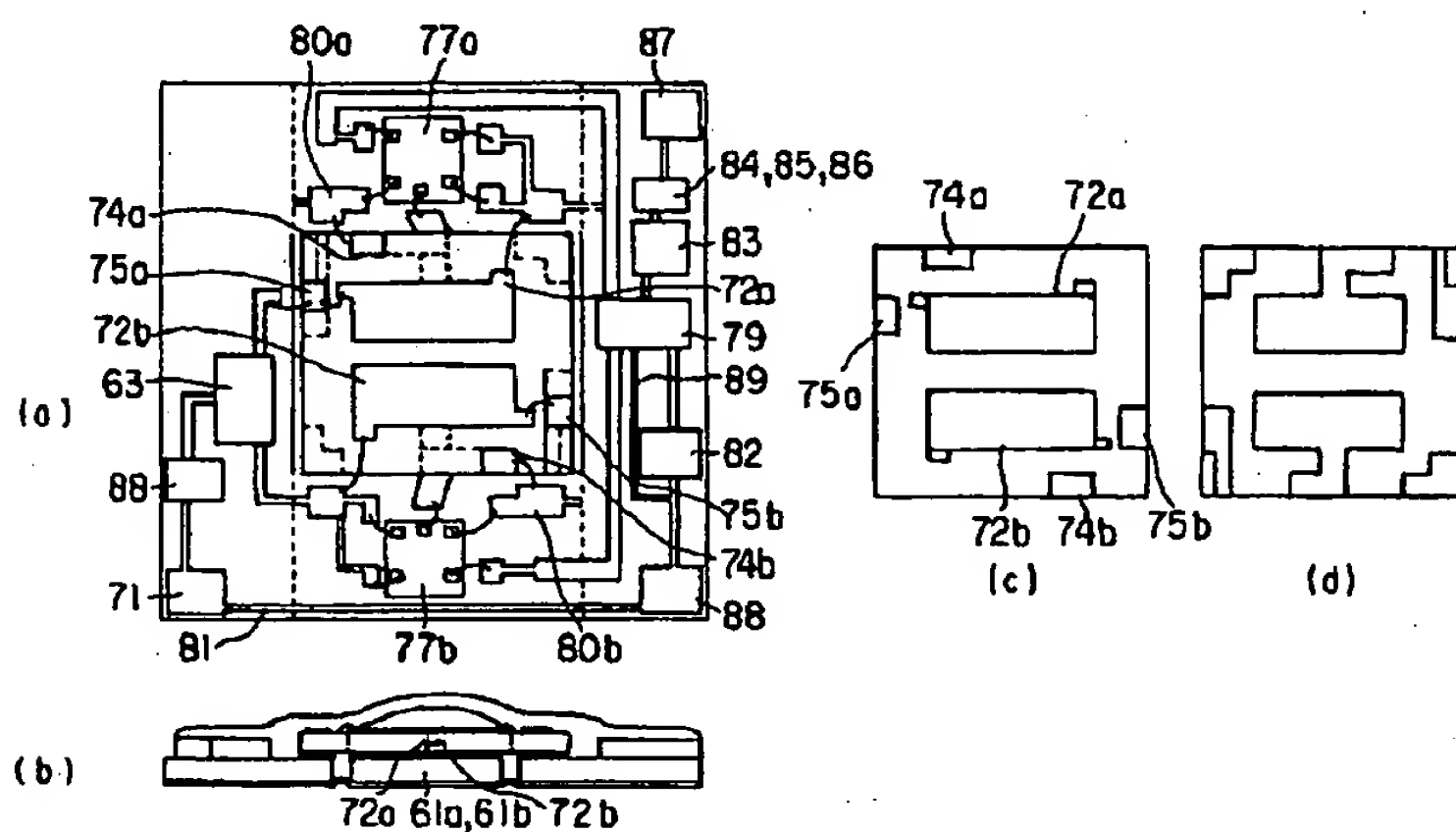
【図12】



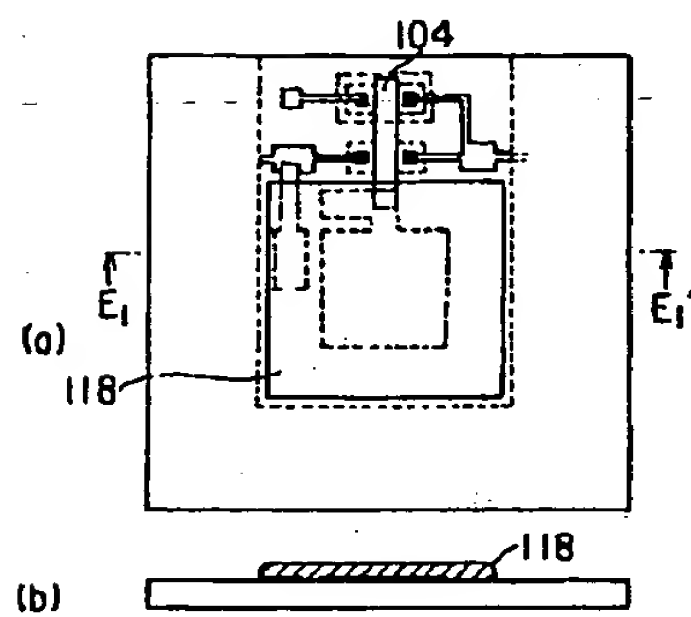
【図10】



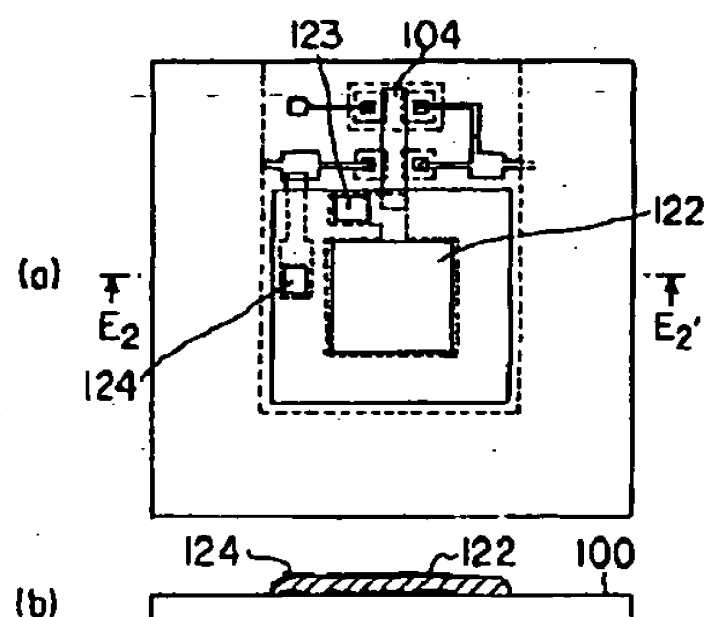
【図11】



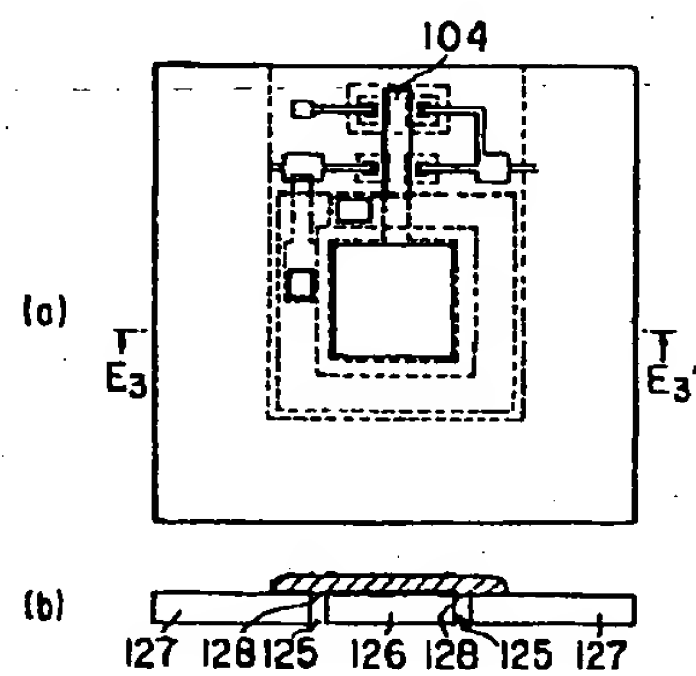
【図13】



【図14】



【図15】



【図17】

